



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA DÍLU Z AUTOMATICKÉ LINKY KOMPLETUJÍCÍ ŽALUZIE

MACHINING OF A PART FROM A AUTOMATIC PRODUCTION EQUIPMENT, WHICH A
SUNBLIND ASSEMBLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADEK CHOVANEC

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Radek Chovanec

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba dílu z automatické linky kompletující žaluzie

v anglickém jazyce:

Machining of a part from a automatic production equipment, which a sunblind assembles

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Představení automatické výrobní linky.
2. Charakteristika dílu "kosárek".
3. Stávající technologický proces ve firmě.
4. Nalezení kritických míst.
5. Sestavení nové varianty (úprava technologie, zahrnutí ekologie).
6. Technicko-ekonomické vyhodnocení.
7. Diskuze, závěr.

Cíle bakalářské práce:

Na podkladě analýzy stávající firemní technologie složitého dílu se navrhne reálná varianta výhodnější technologie, úzce vázaná na podmínky firmy.

Seznam odborné literatury:


1. ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
3. PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
4. SIEMENS AG. Návod k programování, návod k obsluze. 4. vyd. Erlangen: Siemens, a. s., 2000. 469 s.

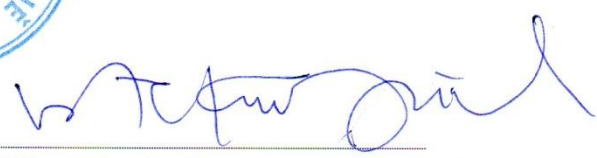
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 22.11.2012




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

V této bakalářské práci je řešen problém dosavadní malosériové výroby navlékacího ramene žaluzií, dále popis funkčního využití tohoto dílu v automatické lince, vyráběné firmou ZEBR s. r. o., návrh možné výhodnější varianty úzce vázané na podmínky firmy a technicko-ekonomické zhodnocení této varianty.

Klíčová slova

navlékací rameno, automatická linka, obrábění, CAD, součást Kosárek, Rapid Prototyping, ZEBR s. r. o., žaluzie

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to find solution to the problem of small batch production of threading arm of blinds made by ZEBR s. r. o., furthermore to describe usage of this part, to design better product regarding company's resources and to evaluate technical and economical aspects of described solution.

Key words

threading arm, automatic production line, machining, CAD, part called Kosárek, Rapid Prototyping, ZEBR s. r. o., blinds

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CHOVANEK, R. *Výroba dílu z automatické linky kompletující žaluzie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 56 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba dílu z automatické linky kompletující žaluzie** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

Radek Chovanec

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi z VUT Brno za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále bych poděkoval firmě ZEBR s. r. o. za poskytnutí materiálů potřebných k vytvoření této práce.

V neposlední řadě patří poděkování také Ing. Josefu Sedlákoví, Ph.D. z VUT Brno za pomoc v řešení nové varianty.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 PŘEDSTAVENÍ AUTOMATICKÉ VÝROBNÍ LINKY	10
1.1 Obecný popis linky TRIANGL 14 NC	10
1.2 Sestavení linky	10
1.3 Ovládání stroje	11
1.4 Výčet možností stroje.....	12
1.5 Funkční prvky	12
2 CHARAKTERISTIKA DÍLU "KOSÁREK"	13
2.1 Materiál dílu	13
2.2 Zařazení dílu v automatické lince a popis činnosti	13
3 STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGICKÝ PROCES VE FIRMĚ	15
3.1 Volba polotovaru.....	15
3.1.1 Vlastnosti materiálu polotovaru.....	15
3.2 Volba strojů.....	15
3.2.1 Pásová pila Pilous ARG 290 plus SAF.....	16
3.2.2 Soustružnické centrum Mazak NEXUS 200MS.....	16
3.2.3 Frézovací centrum HERMLE C20U.....	17
3.2.4 Drátová řezačka FANUC ROBOCUT α -OiCp.....	18
3.3 Volba nástrojů	18
3.3.1 Nástrojový list Mazak NEXUS 200MS.....	18
3.3.2 Nástrojový list HERMLE C20U.....	19
4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY	20
4.1 Stanovení řezných podmínek	20
4.2 Použité výrobní operace	21
5 KRITICKÉ BODY VÝROBNÍHO POSTUPU.....	24
5.1 Určení velikosti ztrát při dělení a obrábění polotovaru.....	24
5.2 Zhodnocení stávající varianty výroby.....	25
6 SESTAVENÍ NOVÉ VARIANTY.....	26
6.1 Popis Rapid Prototyping a technologie FDM	26
6.2 3D tiskárna Dimension uPrint SE	28

6.3	Postup vyhotovení součásti pomocí FDM technologie.....	29
6.3.1	Preprocessing	29
6.3.2	Processing	34
6.3.3	Postprocessing	35
6.4	Ekologické zhodnocení navrhované varianty	36
7	TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ VARIANT.....	37
	DISKUZE	39
	ZÁVĚR	40
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	41
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	43
	SEZNAM PŘÍLOH.....	45

ÚVOD

Základní iniciativou k sepsání tohoto tématu bakalářské práce byla možnost spolupráce se soukromou firmou ZEBR s. r. o. (obr. 1), která patří ke světové špičce v oboru výroby stínící techniky. Tato firma s výrobním programem, poskytováním KNOW-HOW, software a výrobou zařízení zasahuje napříč oběma dvěma obory – interiérovou a exteriérovou stínící technikou a uceleně řeší jejich problematiku. Firma byla založena v roce 1991 Františkem Zelinkou s původním zaměřením na výrobu nástrojů. Postupem času se však výroba přeměrovala nákupem nových technologií na výrobu přesných střížných, ohýbacích a tvářecích nástrojů, které byly využívány v automatizovaných linkách pro tvarování a dělení hliníkových lamel pro žaluzie. Podnik v dnešní době také disponuje technologiemi pro výrobu výlisků z plastů, lisování plechových součástí na výstředníkových lisech a válcování hliníkových profilů. Všechny tyto možnosti a zkušenosti jsou využívány při konstrukci a výrobě vlastních automatizovaných linek, které pomocí vysoké kvality automatizace dokážou přepracovat navinutý pás plechu samostatně v hotovou žaluzii [1].

Po uskutečnění dřívější praxe v této firmě mi bylo umožněno využít její prostory pro tvorbu této práce. Po konzultaci s ředitelem strojírný byla vybrána tvarově složitá součástka navlékacího zařízení, u které by bylo z důvodu velmi nákladné a časově náročné výroby vhodné navrhnout možnou alternativu stávajícího výrobního postupu, který již využívá vyspělé CNC technologie s podporou CAD/CAM softwarů tak, aby bylo dosaženo nižší ceny této součástky. Jako možné řešení tohoto problému byla vybrána technologie 3D tisku na FDM tiskárně, kterou vlastní Fakulta Strojního inženýrství VUT v Brně. Prototyp součásti vytvořený touto technologií byl následně podroben firemnímu zhodnocení, ve kterém byly navrženy možné úpravy, které by zajistily jeho správnou funkci.



Obr. 1 Sídlo firmy a znak [1].

1 PŘEDSTAVENÍ AUTOMATICKÉ VÝROBNÍ LINKY

V této úvodní kapitole je představena automatizovaná výrobní linka firmy ZEBR s. r. o., ve které je využíváno součásti navlékacího zařízení.

1.1 Obecný popis linky TRIANGL 14 NC

Linka TRIANGL 14 NC je technologickou válcovací linkou (obr. 1.1), která se odlišuje od ostatních vyráběných linek svojí koncepcí, umožňující výrobu až tří typů lamel venkovních žaluzií. Tato variabilnost je dána otočným stolem, který má tvar trojúhelníku a umožňuje tak osazení třech různých válcovacích tratí pro jednotlivé typy profilů žaluzií. Přechod z jednoho profilu na druhý i s přesunutím nástrojů trvá 5 minut. Hlavní výhodou tohoto stroje je značná časová a materiálová úspora, vznikající při výměně válcovacích kol a následném seřízení profilu. Linka je schopna zpracovat ocelový plech do tloušťky 0,5 mm a hliníkový plech do tloušťky 0,7 mm [2].



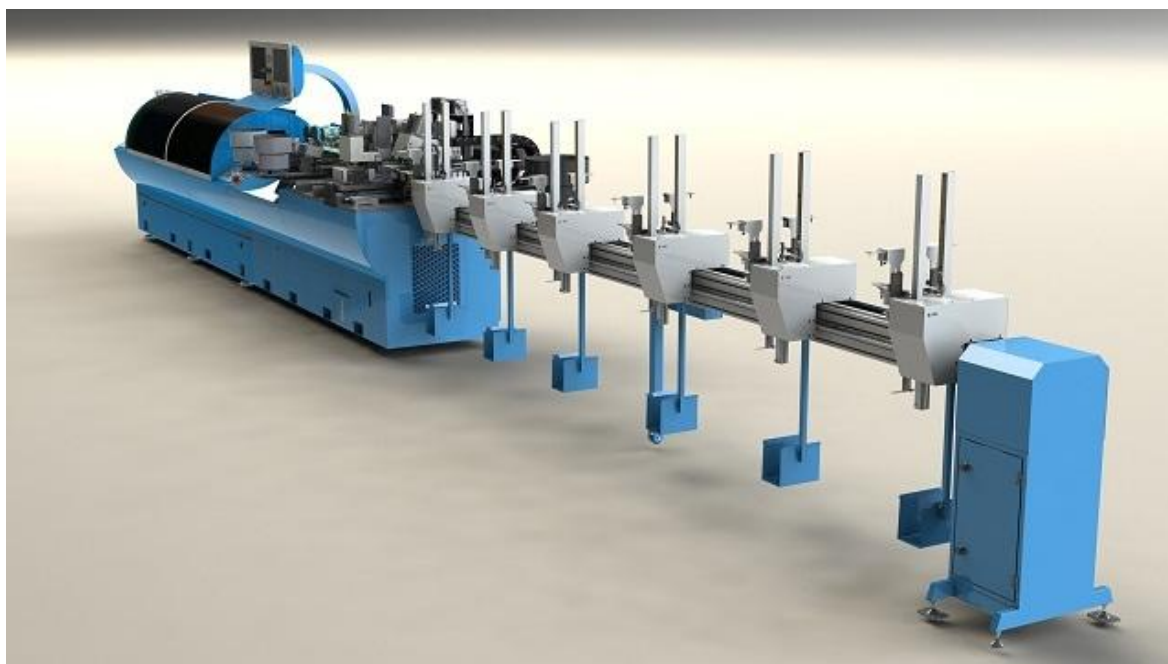
Obr. 1.1 TRIANGL 14 NC [2].

1.2 Sestavení linky

První částí je aktivní odvíjecí zařízení pro dva svitky plechu. Tato samostatná část je s válcovací linkou propojena pomocí komunikačního kabelu. Regulace odvíjecí rychlosti je řízena pomocí ultrazvukového snímače [2].

Druhou částí je samostatná válcovací trať (obr. 1.2). Rotační pracovní stůl s válcovacími koly je připevněn na svařovaném skeletu. Kvůli dosažení vysoké životnosti jsou jednotlivá válcovací kola vyráběna speciální technologií a jako materiál je použita kvalitní nástrojová ocel. Po zavedení pásu plechu do válcovací linky, je pás tvářen na požadovaný tvar a rozměr. K vyrovnání vertikálních a horizontálních deformací je válcovací linka doplněna o rovnací hlavu. V dalším kroku je narovnaný profil zpracován pomocí děrovacích a dělicích nástrojů podle požadované velikosti žaluzie. Posun nástrojů je prováděn automaticky podle zadaných parametrů [2].

Třetí část je vybavena podle požadavků zákazníka a je možno ji volit v následujících variantách provedení: automatický stohovací stůl (veškeré profily), navlékací zařízení pro profil typu C nebo FLACH (obr. 1.2), či vázací zařízení (profil typu S nebo Z) [2].



Obr. 1.2 Druhá a třetí část linky vybavená navlékacím zařízením [2].

1.3 Ovládání stroje

Obsluha stroje je prováděna pomocí panelu dotykového displeje (obr. 1.3). Stroj je možno připojit k místní síti, což umožní zákazníkovi vkládání rozměrů zakázek z vlastního informačního systému. Díky vestavěnému modemu je možno diagnostikovat a opravit softwarové poruchy. Výhodou válcovací linky TRIANGL je ta, že téměř všechny operace jsou prováděny přímo na ní, a proto není potřeba vyválnovaný profil zakládat do jiných nástrojů. Jako další výhody lze uvést: úsporu materiálu, místa na skladování profilů, úspora výrobního času [2].



Obr. 1.3 Ovládací panel [2].

1.4 Výčet možností stroje

Linka TRIANGL 14 NC umožňuje:

- *děrování otvorů pro TEXTBAND včetně zalemování,*
- *děrování různých otvorů pro vodící čepy či boční vedení,*
- *vystřížení fixačního háčku pro fixaci šňůrky žebříčku,*
- *nastřelování plochých či HAGOFIX háčků,*
- *zaválcování těsnící gumy,*
- *automatické nýtování kovových vodících čepů přímo na stroji,*
- *automatické ultrazvukové svařování plastových vodících čepů,*
- *automatické navlékání lamel typu C nebo FLACH do žebříčku,*
- *automatické zamačkávání háčku pro fixaci šňůrky žebříčku,*
- *automatické vázání žebříčku k plochému nebo HAGOFIX háčku u lamel typu Z nebo S,*
- *automatické odebírání hotových paketů ze stroje na pásový zásobník [2].*

1.5 Funkční prvky

Souhrn a charakteristika jednotlivých funkčních prvků linky:

- *svařovaný skelet stroje,*
- *odvíjecí zařízení pro dva kusy svitku s ultrazvukovým snímačem,*
- *otočný trámec pro 3 typy profilů včetně 3 kusů rozvodovek,*
- *válcovací kola včetně tepelné úpravy (kalení),*
- *odkládací stůl s automaticky nastavitelnými stohovacími stojánky,*
- *pneumatické nástroje pro děrování otvoru s lemem pro TEXTBAND,*
- *pneumatické dělicí nástroje,*
- *centrální mazací systém pro nástroje,*
- *řídící systém s 15“ dotykovým panelem,*
- *jednoduché zadávání rozměrů vyráběných lamel,*
- *snadné nastavení rychlosti válcování,*
- *dva módy výroby STANDARD a ATYP,*
- *možnost napojení na síť ETHERNET,*
- *možnost označení výrobku pomocí INK - JETu nebo LASERU,*
- *možnost implementace automatického nýtovacího zařízení na kovové vodící čepy,*
- *možnost implementace automatického navlékacího zařízení ZK-ATU II.,*
- *možnost implementace automatického vázacího zařízení ZK-ABU-F nebo ZK-ABU-H,*
- *možnost implementace automatického manipulátoru pro odkládání hotových paketů [2].*

2 CHARAKTERISTIKA DÍLU "KOSÁREK"

Úkolem dílu v automatizované lince je, aby spolehlivě kopíroval svým vnitřním rádiusem tvarovanou lamelu žaluzie a při tomto pohybu dostatečně roztáhl žebříček, do kterého je samotná lamela žaluzie navlečena. Tento technologický problém byl vyřešen pomocí dvou protilehlých navlékacích ramen, připomínajících svým tvarem koso s plynule rozšiřujícím se křídélkem, proto nadále bude v této práci uváděn firemní název součásti "Kosárek" (obr. 2.1). Všechny tyto technologické podmínky zapříčiňují to, že je Kosárek velmi tvarově složitou součástí, a proto i samotná výroba si vyžaduje využití velmi přesných strojů a nástrojů. To však zároveň zvyšuje i celkovou nákladovost jedné součásti, a jelikož se firma nesoustřeďuje pouze na jeden druh profilu lamel, nemůže být využit jeden univerzální Kosárek pro jakýkoli druh žaluzie, ale musí se vyvíjet různé tvarové a rozměrové varianty. Dosavadní technologický postup sice zajišťuje vysokou kvalitu, ale je značně nerentabilní z důvodu časové náročnosti a velkých materiálových ztrát.



Obr. 2.1 Součást Kosárek - levý.

2.1 Materiál dílu

Přestože není Kosárek příliš namáhanou součástí, je vyrobena z korozi-vzdorné oceli s označením třídy dle ČSN 17 240. Jiná značení tohoto materiálu jsou uvedeny v tab. 3.1. Důvodem je neustálý kontakt s vnějším prostředím, a protože je díl v těsném kontaktu s lamelou a žebříčkem žaluzie, je použití oceli běžné jakosti s povrchovou úpravou vlivem neustálého tření nevhodnou variantou. Ocel je dále využívá kvůli nevznikajícím vibracím při navlékání a dobré otěruvzdornosti.

2.2 Zařazení dílu v automatické lince a popis činnosti

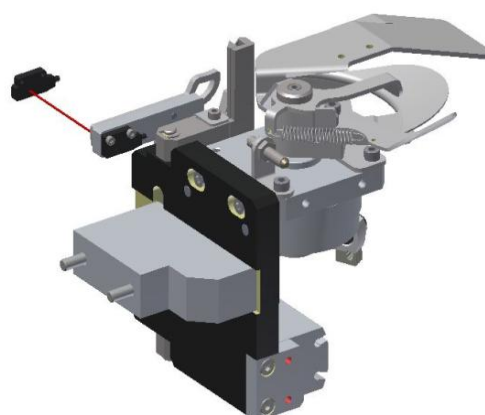
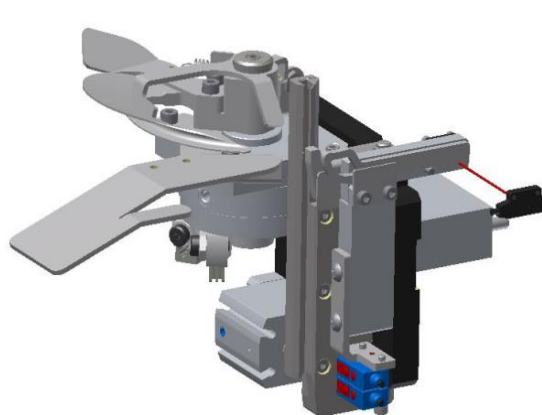
Součást Kosárek je umístěna ve třetí části automatické linky a je použita pro navlékání venkovních žaluzií typu C (obr. 2.2) a FLACH (obr. 2.3). Funkce součásti je sice prostá, ale pro chod navlékání velmi důležitá. Rotačním pohybem Kosárku je dostatečně roztáhnut žebříček tak, že do něj může lamela žaluzie bez problémů zajet. Vlastní upevnění součásti je provedeno pomocí dvou šroubů s vnitřním šestihranem. Samotný navlékací mechanismus (obr. 2.4) je složen z vícera funkčních dílů.



Obr. 2.2 Žaluzie typu C [3].



Obr. 2.3 Žaluzie typu FLACH [3].



Obr. 2.4 Navlékací mechanismus levý - pohledy.

3 STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGICKÝ PROCES VE FIRMĚ

Obsahem této kapitoly je bližší seznámení se stávající výrobou součásti ve firemních prostorech od volby polotovaru k samotnému vyhotovení finálního dílu.

3.1 Volba polotovaru

Vzhledem k možnostem firmy a malé sériovosti je volen polotovar ve formě přířezu. Polotovarem je tyč z korozivzdorné oceli tažená za studena, označena normou DIN 671 h9 se značením materiálu dle ČSN 17 240. Z této tyče je oddělen polotovar $\varnothing 150 - 24$ mm o hmotnosti 3,3 kg. Dělení je prováděno na pásové pile [4, 5].

Tab. 3.1 Značení materiálu [5, 6, 7].

ČSN	DIN	AISI
OCEL 17 240 Cr Ni	1.4301	304

3.1.1 Vlastnosti materiálu polotovaru

Tato korozivzdorná ocel vykazuje dobrou třískovou obrobitelnost, má však sklony ke zpevňování, pokud by nebyly dodrženy vhodné řezné podmínky. Zpevňování je důsledkem přetvoření austenitu na deformační martenzit, čímž se zvyšuje pevnost a snižuje tažnost. Materiál je odolný vůči korozi v prostředí běžného typu. Pro své vlastnosti je využíván v gastronomických zařízeních, vnějších konstrukcích, externích architekturách a podobně. Mechanické vlastnosti a chemické složení jsou uvedeny v tab. 3.2 a tab. 3.3 [5].

Tab. 3.2 Mechanické vlastnosti materiálu 17 240 [5].

Mechanické vlastnosti	
Pevnost v tahu R_m	520-720 MPa
Mez kluzu $R_{p0,2}$	210 MPa
Tažnost A_{80}	45 %

Tab. 3.3 Chemické složení materiálu 17 240 [7].

Chemické složení						
C max. [%]	M max. [%]	Si max. [%]	Cr [%]	Ni [%]	P max. [%]	S max. [%]
0,07	2,0	1,0	17,0 až 20,0	9 až 11,5	0,045	0,030

3.2 Volba strojů

Stroje jsou řazeny tak, jak vyžaduje technologický postup výroby součástky. Vlastníkem všech použitých strojů je firma ZEBR s. r. o..

3.2.1 Pásová pila Pilous ARG 290 plus SAF

Tento hydraulický poloautomat (obr. 3.1) je používán z důvodu možnosti dělení kruhových tyčí do $\varnothing 290$ mm. Základní technické parametry pily jsou uvedeny v tab. 3.4.



Obr. 3.1 Pásová pila ARG 290 plus SAF [8].

Tab. 3.4 Základní parametry Pilous ARG 290 plus SAF [9].

Pilous ARG 290 plus SAF	
Rozměry pilového pásu	3 110 x 27 x 0,9 mm
Rychlost pilového pásu	15-90 m·min ⁻¹
Výkon pohonu pilového pásu	2,2 kW
Rozměry stroje	1 600 x 950 x 1 600 mm
Hmotnost stroje	660 kg

3.2.2 Soustružnické centrum Mazak NEXUS 200MS

Toto soustružnické centrum (obr. 3.2) s řídicím systémem MAZATROL 640T je využíváno z důvodu dostatečného upínacího průměru obrobku a kvůli možnosti obrábění poháněnými nástroji, kterých je využito při vrtání otvorů mimo osu soustružení. Základní technické parametry soustruhu jsou uvedeny v tab. 3.5.



Obr. 3.2 CNC soustružnické centrum Mazak NEXUS 200MS.

Tab. 3.5 Základní parametry Mazak NEXUS 200MS [10].

Mazak NEXUS 200MS	
Maximální průměr obrábění	380 mm
Max. průměr tyče	65 mm
Zdvih X x Z	230 x 575 mm
Max. otáčky hlavního vřetena	5 000 min ⁻¹
Výkon motoru	26 kW
Počet nástrojů	12
Max. otáčky vedlejšího vřetena	6 000 min ⁻¹
Vzdálenost mezi čelistmi obou sklíčidel	575 mm
Rozměry stroje	2 765 x 1 780 x 1 840 mm
Váha stroje	5 100 kg

3.2.3 Frézovací centrum HERMLE C20U

Toto pětiosé frézovací centrum (obr. 3.3) s řídícím systémem HEIDENHAIN iTNC530 je využíváno kvůli možnosti obrábění tvarově složitých obrobků tohoto typu. Základní technické parametry frézky jsou uvedeny v tab. 3.6.



Obr. 3.3 CNC frézovací centrum HERMLE C20U [11].

Tab. 3.6 Základní parametry HERMLE C20U [12].

HERMLE C20U	
Největší délka dráhy stolu (X)	600 mm
Největší délka dráhy stolu (Y)	450 mm
Největší délka dráhy stolu (Z)	450 mm
Natočení osy IV	200 °
Natočení osy V	360 °
Rychloposuv	45 m · min ⁻¹
Točivý moment	200 Nm
Maximální otáčky	18 000 min ⁻¹
Celkový příkon	32 kW
Rozměry	5 680 x 2 610 x 3 145 mm

3.2.4 Drátová řezačka FANUC ROBOCUT α -OiCp

Pro konečné vyhotovení součástky je využívána elektroerozivní drátová řezačka FANUC ROBOCUT α -OiCp (obr. 3.4) s řídicím systémem FANUC Series 180is - WB. Základní technické parametry řezačky jsou uvedeny v tab. 3.7.



Obr. 3.4 Drátová řezačka FANUC ROBOCUT α -OiCp.

Tab. 3.7 Základní parametry FANUC ROBOCUT α -OiCp [13].

FANUC ROBOCUT α -OiCp	
Pojezd X x Y	370 x 270 mm
Pojezd U x V	120 x 120 mm
Posuv Z	180 mm
Max. rozměry upnutí	650 x 560 mm
Řezací drát	$\varnothing 0,05 - \varnothing 0,3$ mm
Rychloposuv X, Y, U, V	$2\,000\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$
Rychloposuv Z	$900\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$

3.3 Volba nástrojů

Veškeré zvolené nástroje, uvedené v nástrojových listech, jsou odpovídající stávající technologii výroby ve firmě. Ke každému použitému nástroji je přiřazeno číslo, na které je odkazováno ve výrobních postupech.

3.3.1 Nástrojový list Mazak NEXUS 200MS

Veškeré uvedené soustružnické nože jsou dodávány firmou Seco Tools. Monolitní vrtáky jsou vyrobeny firmou WNT. Veškeré použité nástroje pro soustružnické operace jsou uvedeny v tab. 3.8.

Tab. 3.8 Seznam použitých nástrojů Mazak NEXUS 200MS.

ČÍSLO NÁSTROJE	ZNÁZORNĚNÍ	NÁZEV NÁSTROJE	OZNAČENÍ	MATERIÁL
T1		NŮŽ VNĚJŠÍ HRUBOVACÍ	PWLN2525M08	
		VBD	WNMG08040-M3	TP2500
T2		NŮŽ VNĚJŠÍ DOKONČOVACÍ	MVJNR2525M16	
		VBD	VNMG160404-M3	TP2500
T3		NŮŽ ČELNÍ ZAPICHOVACÍ	CFIR2525M04	
		VBD	LCMF130404 - 0400 - FT	TGP25
T4		ZAPICHOVACÍ NŮŽ	LCMF1603M0 - 0300 - MP	
		VBD	LCMF 1603	CP500
T5		MONOLITNÍ VRTÁK	DIN 6537- HA 11 606 080	TiAlN
T6		MONOLITNÍ VRTÁK	DIN 6537- HA 11 606 051	TiAlN

3.3.2 Nástrojový list HERMLE C20U.

Použitá monolitní válcová fréza je dodána firmou DEK TECHNIK, kulová fréza je dodána firmou K-TOOLS. Monolitní vrták je vyroben firmou WNT. Veškeré použité nástroje pro frézovací operace jsou uvedeny v tab. 3.9.

Tab. 3.9 Seznam použitých nástrojů Hermle C20U.

ČÍSLO NÁSTROJE	ZNÁZORNĚNÍ	NÁZEV NÁSTROJE	OZNAČENÍ	MATERIÁL
T7		MONOLITNÍ VÁLCOVÁ FRÉZA	DIN 6535 HB 5505 D6	HMMG
T8		MONOLITNÍ KULOVÁ FRÉZA	DIN 6535 HA 132060A.050	HMMG10
T9		MONOLITNÍ VRTÁK	DIN 6537- HA 11 606 043	TiAlN

4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY

Strojní obrábění je uvedeno v posloupnosti tak, jak vyžaduje technologický postup součástí. Všechny využívané programy jsou generovány pomocí technologie CAD/CAM, a to v zastoupení programů SolidWorks/SolidCAM. Postprocesorem vygenerovaný program je zasílán z programátorského stanoviště přímo do stroje pomocí ethernetové sítě firmy.

4.1 Stanovení řezných podmínek

Pro určení řezných podmínek soustružnických a frézovacích operací bylo využito těchto vztahů.

Otáčky obrobku

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D \cdot \pi} [\text{min}^{-1}], \quad (4.1)$$

kde: $v_c [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$ - řezná rychlost (doporučená výrobcem nástroje),
 $D [\text{mm}]$ - průměr obrobku,
 $\pi [-]$ - konstanta.

Posuv na otáčku [14]

$$f = z \cdot f_z [\text{mm}], \quad (4.2)$$

kde: $z [-]$ - počet břitů,
 $f_z [\text{mm}]$ - posuv na břit.

Posuvová rychlost [14]

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}], \quad (4.3)$$

kde: $f_z [\text{mm}]$ - posuv na břit,
 $z [-]$ - počet břitů,
 $n [\text{min}^{-1}]$ - otáčky nástroje.

Výpočet strojních časů při konstantních řezných otáčkách

$$t_{as} = \frac{L_n + L_o + L_{př}}{n \cdot f} [\text{min}], \quad (4.4)$$

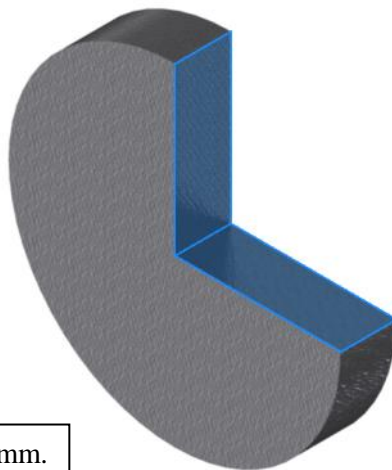
kde: $L_n [\text{mm}]$ - délka náběhu,
 $L_o [\text{mm}]$ - délka obráběné plochy,
 $L_{př} [\text{mm}]$ - délka přeběhu,
 $n [\text{min}^{-1}]$ - otáčky obrobku,
 $f [\text{mm}]$ - posuv na otáčku.

4.2 Použité výrobní operace

V této kapitole je názorně popsána v šesti operacích stávající výroba součásti. Z jednoho polotovaru jsou vždy vyhotoveny tři jednotlivé součásti.

Tab. 4.1 Operace č. 1 - dělení tyčového polotovaru.

Č. OPERACE	PRACOVISTĚ	POPIS OPERACE
1	Pilous ARG 290 plus SAF	Dělení tyčového polotovaru: Polotovar \varnothing 150 - 24 mm.



Řez polotovarem \varnothing 150 - 24 mm.

Tab. 4.2 Operace č. 2 - vytvoření talířového polotovaru.

Č. OPERACE	PRACOVISTĚ	POPIS OPERACE
2	Mazak NEXUS 200MS	Vytvoření talířového polotovaru: Výsledný polotovar je obroben ve třech upnutích. První a druhé upnutí je provedeno za vnější průměr v délce $L = 5$ mm. Třetí upnutí je pomocí kopyta, které zamezuje kroucení talíře při obrábění na tenkou stěnu. Talíř je připevněn na kopyto pomocí tří šroubů M5 x 10 se zaoblenou hlavou s vnitřním šestihranem. Podrobnější popis operace viz příloha č. 3. Výkres talířového polotovaru viz příloha č. 2.



Řez talířovým polotovarem.

Tab. 4.3 Operace č. 3 - vytvoření náběhové hrany a vnějšího rádiusu.

Č. OPERACE	PRACOVISTĚ	POPIS OPERACE
3	HERMLE C20U	Vytvoření náběhové hrany a vnějšího rádiusu: Polotovár je vložen na upínací přípravek frézky a upevněn opačnou stranou než u soustružení. Upevnění polotovaru je provedeno třemi šrouby M5 x 10 s kulovou hlavou s vnitřním šestihranem. V této operaci je dále vyhotoveno 6 otvorů $\varnothing 4,3$ mm pro upnutí hotového Kosárku do navlékacího mechanismu. Podrobnější popis operace viz příloha č. 4.

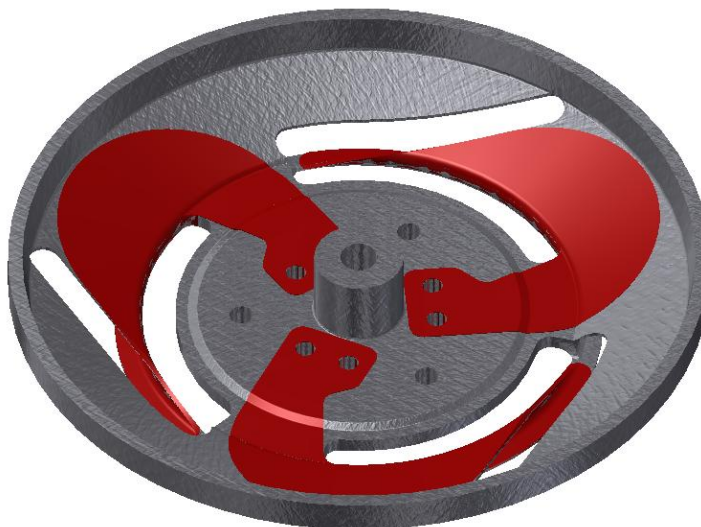
Znázornění náběhových hran, vnějšího rádiusu a vrtaných děr $\varnothing 4,3$ mm.

Tab. 4.4 Operace č. 4 - Sražení ostrých hran.

Č. OPERACE	PRACOVISTĚ	POPIS OPERACE
4	RUČNÍ PRACOVISTĚ	Sražení ostrých hran: Veškeré ostré hrany, které by mohly zapříčinit přetržení drátu v následující operaci, musí být odstraněny.

Tab. 4.5 Operace č. 5 - Vyřezání tří dílčích součástí z obrobku.

Č. OPERACE	PRACOVISTĚ	POPIS OPERACE
5	FANUC ROBOCUT α -OiCp	Vyřezání tří dílčích součástí z obrobku: Operace je provedena ve třech upnutích v přípravku. Jednotlivé upnutí přesně určuje polohu jedné součásti. Na začátku této operace je vytvořen otvor pro navlečení mosazného drátu a následně je vyřezán obrys jednoho dílu. Tento postup je shodně opakován ve všech třech upnutích. Podrobnější popis operace viz příloha č. 5.



Znázornění tří řezaných obrysů součástí.

Tab. 4.6 Operace č. 6 - Zámečnické dokončení.

Č. OPERACE	PRACOVISTĚ	POPIS OPERACE
6	RUČNÍ PRACOVISTĚ	Zámečnické dokončení: Sražení ostrých hran, vyleštění povrchu v oblasti vodícího žlábků a křídélka.



Informační foto povrchu hotové součásti.

5 KRITICKÉ BODY VÝROBNÍHO POSTUPU

Jedno ze zásadních kritických míst stávajícího výrobního postupu je velké množství nevyužitého materiálu polotovaru. Tento fakt způsobuje velké množství odpadu ve formě třísek a zbytků po vyřezání tří jednotlivých součástí (obr. 5.1). Tento odpad z korozivzdorné oceli je firma nucena třídit a odvážet na sběrné dvory, kde jsou následně zpracovány. Všechny tyto aspekty zvyšují cenu dílu a jsou značně neekologické.



Obr. 5.1 Zbytek nevyužitého polotovaru.

5.1 Určení velikosti ztrát při dělení a obrábění polotovaru

Zde je řešeno určení ztrát materiálu při vyhotovení tří součástí z jednoho polotovaru. V tomto výpočtu jsou zahrnuty jak ztráty při obrábění, tak ztráty při dělení přířezu na pásové pile. Nevyužitý konec tyče nebude v tomto výpočtu zahrnut, jelikož se jedná o malou sérii a zbytek tyče je ve firmě dále využíván při výrobě jiných součástí. Veškeré hmotnosti a obsahy jsou určeny pomocí programu Autodesk Inventor 2013.

Ztráty vzniklé obráběním

$$q_o = Q_p - 3 \cdot Q_s \text{ [kg]}, \quad (5.1)$$

kde: Q_p [kg] - hmotnost tyčového polotovaru (\varnothing 150 - 24 mm),

Q_s [kg] - hmotnost hotové součásti.

$$q_o = 3,287 - 3 \cdot 0,033 = 3,188 \text{ kg.}$$

Ztráty vzniklé dělením materiálu

$$q_u = u \cdot S \cdot \rho \text{ [kg]}, \quad (5.2)$$

kde: u [mm] - velikost průřezu pásové pily (šířka řezného pásu),

S [mm²] - plocha průřezu tyče,

ρ [kg·m⁻³] - hustota řezaného materiálu.

$$q_u = 0,9 \cdot 17671,5 \cdot 7,75 \cdot 10^{-6} = 0,123 \text{ kg.}$$

Celkové ztráty na jednu výrobní trojici

$$Z_m = q_o + q_u \text{ [kg]}, \quad (5.3)$$

kde: q_o [kg] - ztráty vzniklé obráběním materiálu,
 q_u [kg] - ztráty vzniklé dělením materiálu.

$$Z_m = 3,188 + 0,123 = \mathbf{3,311 \text{ kg}}.$$

Hmotnost potřebného materiálu pro jednu výrobní trojici

$$P_m = Z_m + 3 \cdot Q_s \text{ [kg]}, \quad (5.4)$$

kde: Z_m [kg] - celkové ztráty na jednu trojici,
 Q_s [kg] - hmotnost hotové součásti.

$$P_m = 3,311 + 3 \cdot 0,33 = \mathbf{3,41 \text{ kg}}.$$

Relativní velikost materiálu tří součástí vůči potřebnému materiálu

$$R_v = \frac{3 \cdot Q_s}{P_m} \cdot 100 \text{ [%]}, \quad (5.5)$$

kde: Q_s [kg] - hmotnost hotové součásti,
 P_m [kg] - hmotnost potřebného materiálu pro jednu trojici.

$$R_v = \frac{3 \cdot 0,033}{3,41} = \mathbf{2,9 \text{ \%}}.$$

5.2 Zhodnocení stávající varianty výroby

Tento způsob výroby je využíván pro svou vysokou kvalitu a technologickou dostupnost. Dalším důvodem je možnost využívání stejného postupu i pro jiné tvarové a velikostní obměny tohoto dílu. Pro firmu je však velmi ekonomicky nevýhodný, jelikož při výrobě je odstraněno více než 97 % materiálu polotovaru a do technologického postupu jsou zapojena různá strojní a ruční pracoviště. Tato fakta jsou nepřehlédnutelná a je proto na snaze, aby byla výroba dílu řešena jinou technologií, kterou by firma mohla pro tento nebo i jiné vyráběné díly využívat.

6 SESTAVENÍ NOVÉ VARIANTY

Nová varianta výroby součásti by měla splňovat veškeré potřebné náležitosti, které firma požaduje. Především však je upřednostněna celková nákladnost, která je u stávajícího způsobu výroby velmi vysoká a značně tak navyšuje výslednou cenu finálního dílu. Jelikož není díl značně silově namáhán, bylo by možné použít místo současného polotovaru z korozivzdorné oceli přířez z plastové tyče. To by značně urychlilo strojní časy a použité nástroje by byly znatelně méně opotřebovávány. I přes tyto výhody však není možné tuto variantu vzít v potaz, jelikož finální vyhotovení pomocí elektroerozivního drátořezu je z důvodu nevodivosti plastového polotovaru nemožné. Možnou alternativou využívající polotovar ve formě plastu a zároveň schopné vyhotovit takto složitý díl je využití moderních technologií Rapid Prototyping (rychlá výroba prototypů, dále jen RP). Pro svoji dostupnost a vhodný materiál byla vybrána 3D tiskárna s technologií Fused Deposition Modelling (ukládání roztaveného materiálu, dále jen FDM), která dokáže tisknout z plastu ABS plus. Toto řešení značně urychlí tvorbu dílu, sníží množství odpadu a značně sníží nákladovost dílu. Jako další a velmi důležitou výhodu tohoto řešení je možnost adaptivity na jakékoli úpravy modelu, které jsou ve firmě z důvodu neustálého vývoje velmi časté. Pro takto malou sériovost, jako je tomu u součásti Kosárek, je varianta využití technologie RP velmi přínosná. Vytvořený 3D model však nedisponuje tak kvalitním povrchem, jak je vyžadováno výrobcem, proto je potřeba díl dodatečně opracovat, aby tyto podmínky splňoval.

6.1 Popis Rapid Prototyping a technologie FDM

Metod Rapid Prototyping existuje v současnosti velké množství (tab. 6.1). Ačkoli se tyto jednotlivé metody liší např. použitým materiálem, prostředím, zdrojem tepla pro natavení materiálu atd., mají jeden společný znak, který je u všech těchto metod shodný. Tímto znakem je tvorba prototypů postupným přidáváním materiálu po vrstvách na základě dat odeslaných z počítače. Jedná se tedy o opak obrábění, jelikož zde není z polotovaru materiál odebrán, ale naopak je k vznikajícímu výrobku přidáván, proto se tyto technologie nazývají také aditivními. Jednotlivé fáze tohoto procesu připomínající všem známý dvourozměrný tisk, daly vzniknout obecnému názvu těchto zařízení – 3D tiskárny. Jejich primárním účelem je vyrobit ve velmi krátké době geometricky neomezené tvarové součásti, se současným vynaložením nižších finančních nákladů, než by tomu bylo u klasické metody výroby. Tyto metody slouží především k nalezení chyb ve výrobní dokumentaci (chyby konstruktéra), koncepci (chyby realizace), ověření vyrobitelnosti, smontovatelnosti, simulacím v oblastech namáhání, proudění a jiné. Veškeré tyto vlastnosti v důsledku přináší zvýšení spolehlivosti, zkrácení doby kompletace a přímou výrobu komplexních dílů. Těchto metod je využíváno při výrobě o menší kusovitosti, nebo při vyhotovení součástí, které nelze klasickými technologiemi provést (např. formy se zavřenými dutinami). Velké uplatnění získávají tyto metody ve zdravotnictví, leteckém, elektrotechnickém a automobilovém průmyslu. Metody RP jsou v neustálém vývoji a v budoucnu mohou například sloužit k výrobě náhradních dílů družic při letech na vzdálené planety [15, 16, 17, 18].

Fáze výroby součástí pomocí RP

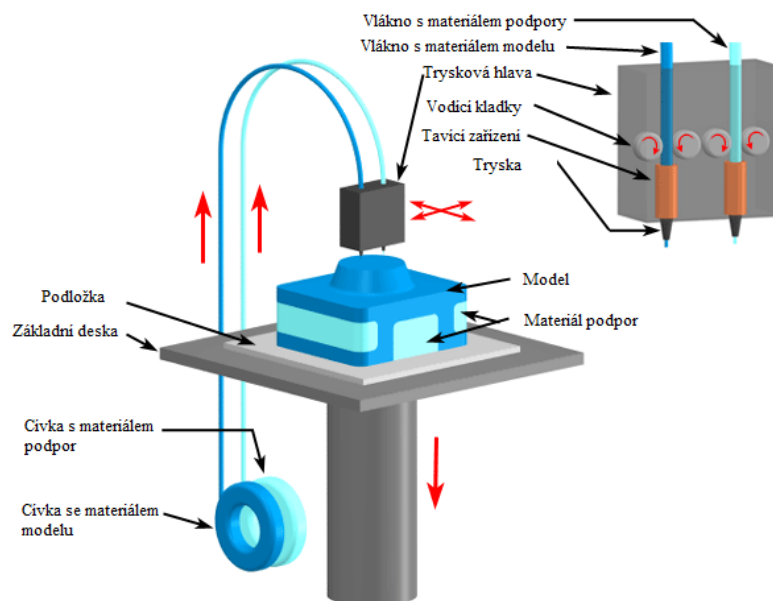
- **Preprocessing:** Etapa zahrnující kroky spojené s úpravou dat, která jsou načtena v obslužném programu tiskárny.
- **Processing:** Etapa zahrnující tisk modelu.
- **Postprocessing:** Etapa zahrnující dokončovací operace (broušení, lakování, pokovování, leštění, řezání závitů atd.) [19].

Tab. 6.1 Porovnání technologií RP [20].

Druh báze materiálu	Základní technologie RP	Zkratka	Materiál modelu
Na bázi fotopolymerů	Stereolithography	SLA, SL	Fotopolymer
	Solid Ground Curing	SGC	Fotopolymer, nylon
Na bázi práškových materiálů	Selective Laser Sintering	SLS	Polyamid, nylon, vosk kovové prášky
	Direct Metal Laser Sintering	DMLS	Kovové prášky
Na bázi tuhých materiálů	Laminated Object Manufacturing	LOM	Papír s jednostranným pojivem
	Fused Deposition Modelling	FDM	ABS, vosk, polykarbonát
	Multi Jet Modelling	MJM	Termopolymer, akrylátový fotopolymer

Technologie FDM

Metodu FDM (obr. 6.1) vyvinula v roce 1988 společnost Stratasys, Inc. Princip této metody je v natavování termoplastického materiálu ve formě drátu, který je navinut na cívce. Z ní je pomocí kladek vtlačěn do tavicí trysky, kde je zahřán na teplotu o 1 °C vyšší než je jeho teplota tavení a následně po jednotlivých vrstvách kladen na podložku. Při kladení vrstvy dochází prakticky k okamžitému ochlazení materiálu a následnému tuhnutí [21].



Obr. 6.1 Schéma metody FDM [22].

Jednotlivé součásti jsou vytvářeny z ABS nebo ABS plus plastu, elastomeru, polykarbonátu, vosku atd. [20].

Pro vytvoření modelu je vyžadována stavba podpor, zabráňující jeho deformaci při kladení vrstev, materiál podpory se po dokončení odstraní. Podporný materiál je přiváděn do místa tavicí trysky stejným způsobem jako materiál modelu a stejným způsobem je i nanášen. Pokud nehrozí porušení samotného dílu, je možné odstranění podpory mechanicky. V jiných případech se její odstranění provádí chemickým způsobem [20].

Tisková hlava se pohybuje v rovině XY a po dokončení celé jedné vrstvy součásti se celá tisková hlava posune o tloušťku vrstvy v ose Z směrem nahoru. Celý cyklus se opakuje, dokud nedojde k vytisknutí celé součásti. Nanášení základního materiálu a podpory neprobíhá současně nýbrž střídavě. Jako první je nanášena na základní desku vrstva podpory a až na tuto vrstvu jsou pokládány jednotlivé vrstvy základního materiálu [19, 20].

Každý tisk vyžaduje správnou volbu atributů tisku - typ zařízení, tloušťka vrstev materiálu, typ podpor, způsob vyplnění objemu modelu, měřítko tisku a orientace v pracovním prostoru [20].

- **Výhody:** Výroba funkčních prototypů (vlastnosti blíží se konečným produktům), minimální odpad (pouze materiál podpor), vytvořený model již nevyžaduje žádné obrábění, zařízení FDM mohou pracovat i v běžném kancelářském prostředí (netoxické materiály) [20].
- **Nevýhody:** Omezená přesnost daná tvarem materiálu a průměrem výstupní trysky. Proces výroby nelze urychlit z důvodu principu metody a vlastností materiálu [20].

6.2 3D tiskárna Dimension uPrint SE

Tuto 3D tiskárnu (obr. 6.2) má ve svém vlastnictví Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně a byl na ní vytvořen zkušební vzorek součásti s následným zhodnocením. Tiskárna je řízena pomocí software CatalystEX, který načítá modely ve formátu STL. Základní technické parametry tiskárny jsou uvedeny v tab. 6.2.



Obr. 6.2 3D Tiskárna uPrint SE s příslušenstvím: 1. 3D tiskárna 2. Zásobník drátu (podpory i modelu) 3. Cívky s materiálem 4. Recyklovatelné podložky 5. Čistící zařízení WaveWash (ultrazvuková čistička) [23].

Tab. 6.2 Základní parametry uPrint SE [23].

Dimension uPrint SE	
Velikost model. prostoru (X,Y,Z)	203 x 152 x 152 mm
Tloušťka vrstvy	0.254 mm
Kazeta s ABS modelovacím materiálem	688 cm ³
Kazeta s materiálem podpory	688 cm ³
Modelovací materiál	ABS plus

6.3 Postup vyhotovení součásti pomocí FDM technologie

6.3.1 Preprocessing

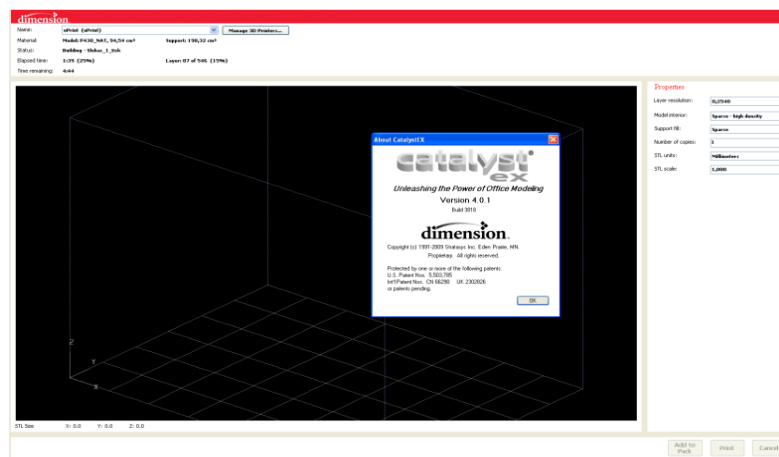
Model součásti byl nejprve pomocí programu Autodesk Inventor 2013 převeden z universálního formátu dat STEP do STL. Tato transformace byla nutná kvůli řídicímu systému tiskárny, který vyžaduje pouze formát dat STL. Tento formát způsobí změnu geometrického tvaru na soubor rovinných ploch (vznik trojúhelníkové sítě), (obr. 6.3). Převedení bylo provedeno pomocí funkce „Uložit kopii jako“ a v dalším kroku byl vybrán potřebný formát. Důležitým kritériem při převodu bylo nastavení vysokého rozlišení v možnostech uložení. To zaručilo bezchybnou transformaci a následný 3D tisk součásti [24].



Obr. 6.3 Model součásti Kosárek ve formátu STL se zobrazenou trojúhelníkovou sítí.

Program CatalystEX

Program CatalystEX (obr. 6.4) vyvíjen firmou Dimension, je dodáván spolu s 3D tiskárnou a slouží jako nástroj pro určení parametrů tisku. Tímto softwarem jsou jednotlivé modely rozděleny na vrstvy a automaticky jsou generovány podpory modelu [25].



Obr. 6.4 Prostředí programu CatalystEX.

Nastavení atributů tisku

Program umožňuje velké množství modifikací 3D tisku a to jak v nastavení samotného modelu, tak i podpor. Těmito modifikacemi lze efektivně snížit čas výroby, náklady a v neposlední řadě také pevnostní vlastnosti hotového dílu. Prvním krokem je určení tiskového zařízení, na kterém bude model vyhotoven, po tomto následují jednotlivé modifikace (obr. 6.5). S jednotlivými možnostmi nastavení parametrů tisku je seznámeno v odstavcích a) až f).

Properties

Layer resolution:	0,2540
Model interior:	Sparse - high density
Support fill:	Sparse
Number of copies:	1
STL units:	Millimeters
STL scale:	1,000

Obr. 6.5 Nastavení vlastností modelu v programu CatalystEX. (Layer resolution: tloušťka vrstvy, Model interior: způsob vyplnění modelu, Support fill: způsob tvorby podpor, Number of copies: počet kopií, STL units: jednotky, STL scale: měřítko tisku).

a) *Layer resolution (tloušťka vrstvy)*

Nastavením tenčí tloušťky jedné vrstvy je možné zkvalitnit výsledný povrch modelu. Nevýhodou je však v tomto případě narůstající čas tisku. V programu je na výběr ze tří možností velikosti jedné vrstvy:

- 0,178 mm,
- 0,245 mm,
- 0,330 mm.

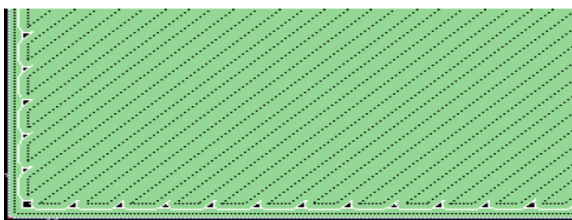
V případě tiskárny uPrint SE je povolena tloušťka vrstvy pouze 0,254 mm [26].

b) *Model interior (způsob vyplnění modelu)*

Nastavení výplně modelu má značný vliv na jeho pevnostní vlastnosti. Pokud však není výsledný model vystavován velkému namáhání (prezentační účely), je možno využít nízké hustoty výplně a tím snížit znatelně náklady. Pro většinu běžně použitelných dílů je však vyžadována plná výplň, která zajišťuje požadovanou pevnost, to se však projeví i ceně tisku.

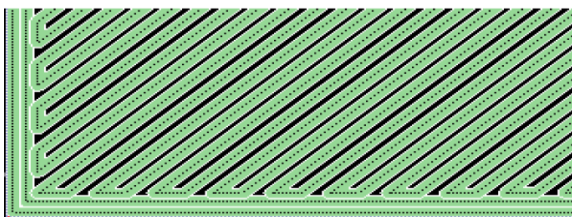
Druhy výplně modelu

- **Solid:** Jedná se o zcela zaplněnou vnitřní strukturu modelu (obr. 6.6). Toto nastavení bylo využito i v případě tisku součásti Kosárek z důvodu požadované pevnosti [26],



Obr. 6.6 Vyplnění Solid [25].

- **Sparse high density:** Toto nastavení je doporučeno výrobcem a zajišťuje kompromis mezi vysokou pevností, nižšími náklady a časem (obr. 6.7) [26],



Obr. 6.7 Vyplnění Sparse high density [25].

- **Sparse low density:** Nastavení zajišťující nejnižší možné pevnostní parametry, je však nejrychlejší a nejlevnější metodou vyplnění (obr. 6.8) [26],



Obr. 6.8 Vyplnění Sparse low density [25].

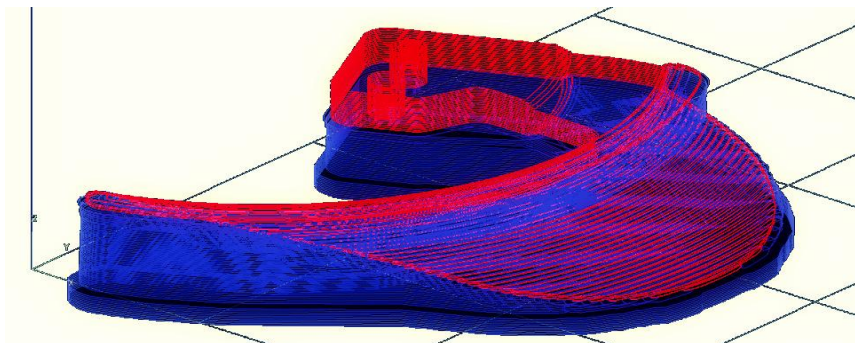
c) *Support fill (způsob tvorby podpor)*

Nastavení způsobu tvorby podpor ovlivňuje to, jak dobře je model ochráněn před možnou deformací. Ta by mohla vzniknout v místě s velkým převisem materiálu modelu, kdy by se ještě nedostatečně ztuhlý materiál modelu mohl pohnout, což je nepříjemné [26].

Druhy podpor

- **Basic:** Nejčastěji využívaná varianta podpor, vhodná pro většinu součástí. Její specifikace jsou konzistentní mezery mezi materiálem modelu a podpory. Model součásti byl vytisknut touto metodou (obr. 6.9) [26].
- **Sparse:** Minimalizuje množství podporného materiálu tím, že používá mnohem větší rozestupy mezi drahami rastrovými, než u podpor základových [26].
- **Minimal:** Je používáno pro malé součásti nevyžadující velké množství podporového materiálu. Podpory jsou stavěny pouze v místech, kde je to nezbytně nutné. Tyto skutečnosti urychlují odstraňování podpory [26].

- **Break - away:** Toto rozložení podpory se podobá variantě Sparse, rozdíl je však v neuzavření obvodové křivky podpory. Je jednodušší na odstranění podporného materiálu, avšak je více časově náročná. Tiskárna uPrint SE tento druh podpor neumožňuje [26].
- **Surround:** Celý model je obklopen podporovým materiálem. Obvykle se tento způsob používá pro vysoké a úzké modely (např. tužka) [26].



Obr. 6.9 Součást Kosárek - podpora Basic.

d) Number of copies (počet kopií)

Toto nastavení určuje počet modelů, který má být zhotoven. Tento počet je omezen rozměry tiskové podložky [26].

e) STL units (jednotky)

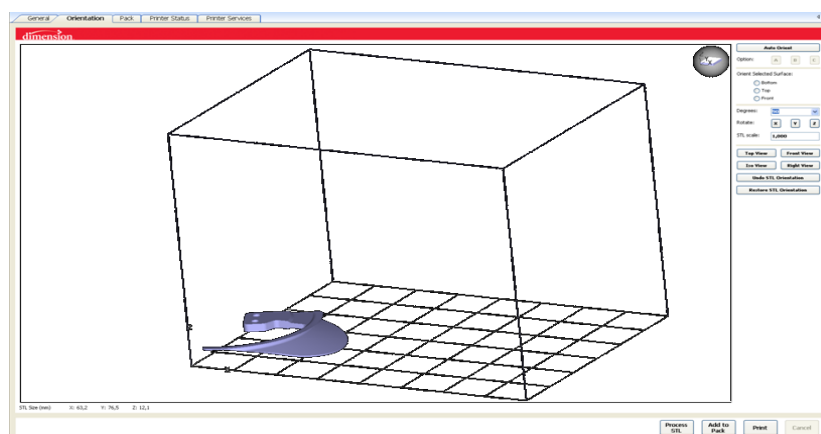
Nastavení jednotek, ve kterých budou udány veškeré parametry souboru STL. Uživatel si může vybrat mezi milimetry či palci [26].

f) STL scale (měřítko tisku)

Nastavení měřítka tisku STL modelu bez nutnosti úpravy CAD modelu [26].

Vlastní orientace modelu v prostoru tiskárny

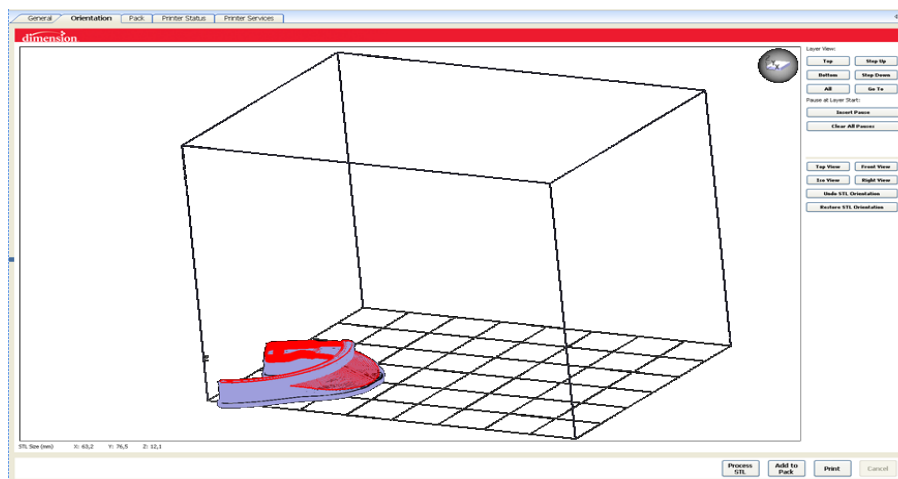
Po importu STL modelu a nastavení vlastností tisku je dalším krokem správná orientace modelu (obr. 6.10), kterou je možno také značně ušetřit náklady na tisk a ovlivnit může i jeho výslednou kvalitu. Program CatalystEX umožňuje automatickou orientaci modelu, ale také uživatelskou která umožňuje otáčet s dílem podle potřeby.



Obr. 6.10 Vlastní orientace součásti Kosárek.

Rozvrstvení modelu a podpor

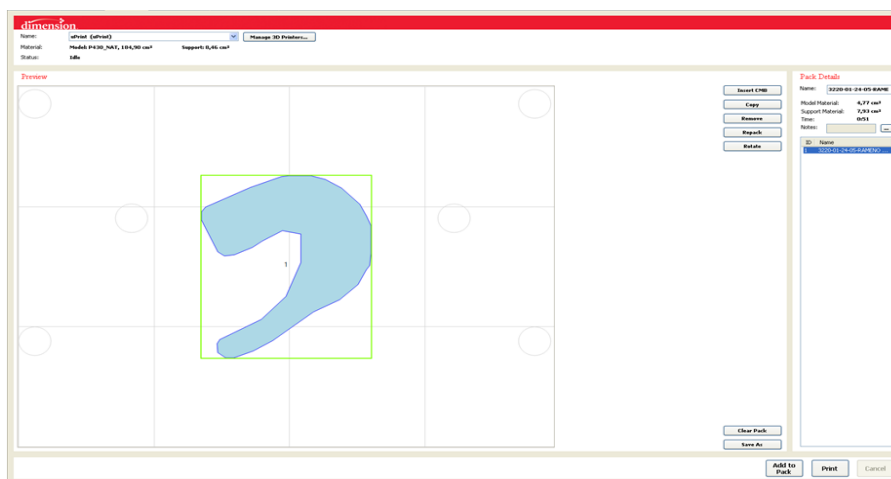
Po dokončení orientace následuje pomocí funkce „Add to pack“ rozvrstvení modelu i podpor, které uživatel určil v nastavení modelu. Toto rozvrstvení slouží jako ukázka toho, jak bude model vytvářen (obr. 6.11).



Obr. 6.11 Rozvrstvení modelu a podpor součásti Kosárek.

Určení polohy na podložce a výstupní data tisku

Tato poslední úprava je důležitá zejména v případě většího množství tisknutých dílů, kdy správným rozložením je možno dostat na podložku větší množství kopií jednoho modelu nebo popřípadě více odlišných modelů, které by se mohly tisknout zároveň. Ukázka určení polohy součásti je uvedena v obr. 6.12.



Obr. 6.12 Určení polohy modelu na tiskací podložce.

Výstupní data tisku

Program CatalystEX určí po dokončení všech předchozích úkonů výslednou spotřebu modelovacího a podporového materiálu a také čas potřebný pro vyhotovení. Data tisku modelu součásti Kosárek jsou uvedeny v tab. 6.3.

Tab. 6.3 Data tisknutého modelu součásti.

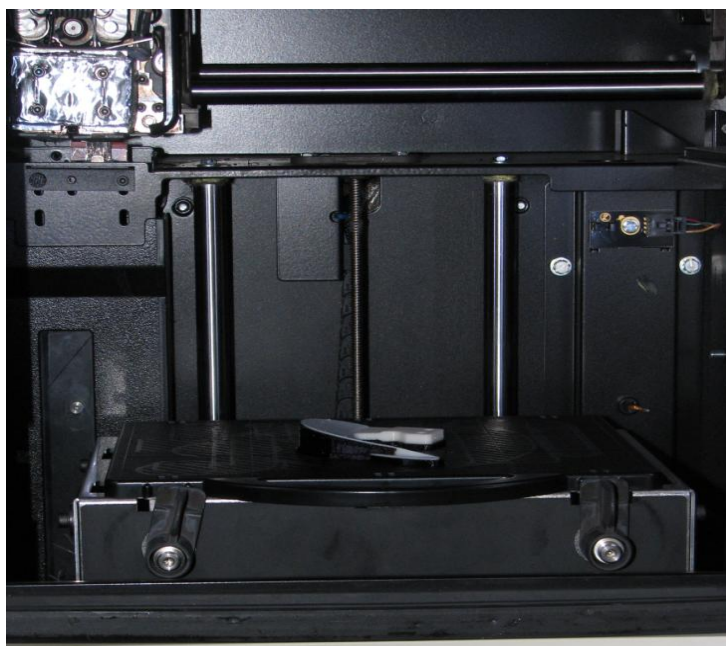
Data tisknutého modelu Kosárku	
Objem materiálu modelu	4,75 cm ³
Objem materiálu podpory	5,80 cm ³
Celkový objem materiálu	10,55 cm ³
Čas tisku	42 min

6.3.2 Processing

Tento úsek technologie RP zahrnuje samotný tisk součásti. Před započítím tisku se musí nahřát prostor tiskárny asi na 80 °C, aby tavený materiál příliš rychle neztuhl. Další část, která se musí dostatečně přehřát je tisková hlava, a to na teplotu 280 °C, aby bylo dosaženo kvalitního natavení drátového materiálu. Tisková komora je vybavená čistícím zařízením trysky a kalibračními body posuvu. Celý proces tisku pracuje plně automaticky bez nutnosti vnějšího zásahu. Jako první je nanесena na podložku vrstva podporového materiálu a následovně je kladen materiál modelu. Po skončení je možno jednoduše odstranit celý model i s podporami z podložky a následovně jej dále upravovat. Tisk modelu součásti Kosárek (obr. 6.13) byl proveden na zařízení uPrint SE a jako modelový materiál bylo použito plastu ABS plus, který je zhruba o 40 % pevnější než standardní ABS. Pevnostní parametry modelovacího materiálu jsou uvedeny v tab. 6.4 [19, 27].

Tab. 6.4 Parametry modelovacího materiálu [28].

Pevnostní parametry ABS plus plastu	
Pevnost v tahu	37 MPa
Modul pružnosti v tahu	2,320 MPa
Poměrné prodloužení	3 %
Pevnost v ohybu	53 MPa



Obr. 6.13 Processing modelu Kosárku.

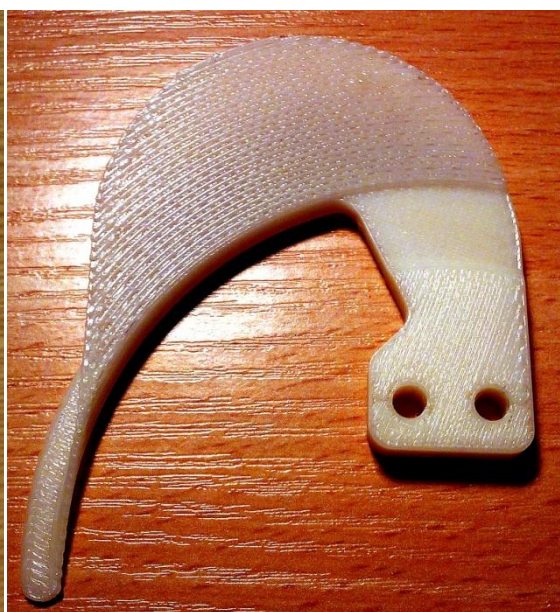
6.3.3 Postprocessing

Odstranění podpor

Do této fáze se řadí odstraňování podpor a dokončovací operace, jako je například broušení, řezání závitů, pokovování, lakování a další. Jelikož je tloušťka součásti Kosárek v určitých místech jen 0,8 mm, není možné odstranění materiálu podpory mechanickým způsobem, jelikož by mohlo dojít k jeho zničení. Pro modely tohoto typu je nejvhodnější variantou chemické odstranění podpory rozpuštěním v lázni hydroxidu sodného umístěného ve speciální ultrazvukové čističce. Tento způsob je bohužel zdlouhavější a vyžaduje opatrné zacházení, aby nedošlo ke zranění poleptáním. Pro názornost jsou uvedeny dva snímky modelu. Na prvním snímku je vyjmutý model z tiskárny ještě před odstraněním podporového materiálu (obr. 6.14) a na druhém snímku je součást již po odstranění veškerého podporového materiálu (obr. 6.15).



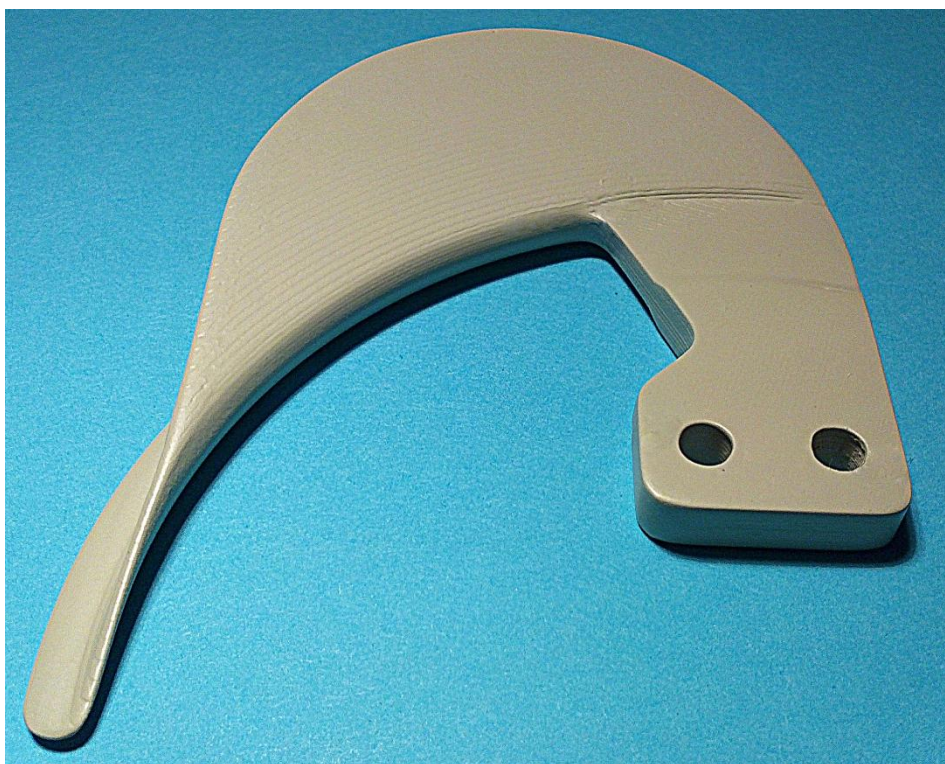
Obr. 6.14 Kosárek před odstraněním podpory.



Obr. 6.15 Kosárek po odstranění podpory

Povrchová úprava modelu

Finální úpravou vytisknutého modelu zbaveného podpor, je nanesení několika tenkých vrstev plniče s následným broušením. Nanesený plnič vyplní póry na povrchu modelu vzniklé vrstvením materiálu v průběhu tisknutí. V případě povrchové úpravy součásti Kosárek bylo využito sprejového plniče značky DUPLI-COLOR. V prvním kroku byla nanесena vrstva plniče na nikterak opracovanou součást a po jeho vytvrzení byl povrch broušen pod vodou smirkovým papírem o zrnitosti P400. Po vybroušení a osušení modelu byla znovu nanесena vrstva plniče a po jeho opětovném vytvrzení znovu následovalo broušení. Tento proces byl opakován poté ještě jednou, avšak s využitím smirkového papíru o vyšší zrnitosti P800. Tím bylo dosaženo velmi hladkého a kvalitního povrchu modelu, který byl vyžadován konstrukcí. Konečná podoba součásti je uvedena na obr. 6.16.



Obr. 6.16 Finální podoba tisknuté součásti Kosárek.

6.4 Ekologické zhodnocení navrhované varianty

Navrhovaná varianta výroby je z ekologického hlediska velmi vhodná. Hlavním důvodem je, že při vyhotovování modelu pomocí technologie RP vzniká odpad pouze v podobě podpory, která však není nikterak objemnou a toxickou. Je možné ji proto umístit do běžného odpadu. Při tisknutí nemusí být dodržována žádná přísná bezpečnostní opatření předcházející úrazu či kontaminaci okolí nebezpečnými látkami. 3D tiskárna nevyžaduje pro svůj samostatný chod žádné provozní ani řezné kapaliny. Zařízení má velmi tichý chod, a proto může být bez problémů umístěno i v kancelářských prostorech. Jediným zdrojem energie je elektrický proud o běžném fázovém napětí 230V a jeho spotřeba je tak značně nižší než je tomu u běžných obráběcích strojů. Materiály ABS a ABS plus patří do skupiny termoplastů, které je možno opětovným zahřátím přeformovat na nový díl. Tyto všechny a jiné další výhody jsou pro tuto variantu velmi přínosné a zaručují tak velmi dobré ekologické podmínky výroby součástí.

7 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ VARIANT

V této kapitole je hlavním úkolem porovnání stávající a navrhované varianty výroby. Porovnávacími hledisky jsou výrobní čas a náklady spojené s výrobou.

Stávající varianta výroby

Veškeré časy operací uvedené v tab. 7.1 jsou přepočítány na jeden vyráběný kus, aby bylo možné porovnání s tisknutým modelem, u kterého byl vytvořen pouze jeden zkušební prototyp. Ve výsledných cenách jednotlivých operací musí být navíc započtena cena za režii ve výši 480 Kč na hodinu. V operaci dělení materiálu je nutné přičíst do výsledných nákladů také cenu přířezu, která činí 250 Kč.

Tab. 7.1 Rozpis časů a nákladů stávající výroby součásti Kosárek

Rozpis časů a nákladů stávající výroby součásti Kosárek					
Č. op.	Popis	Pracoviště	Hodinová sazba [Kč]	Čas [min]	Cena včetně režie [Kč]
1	Dělení materiálu	Pilous ARG 290 plus SAF	345	11	401
2	CNC programování	SolidCAM	300	30	390
3	CNC soustružení	Mazak NEXUS 200MS	605	29	524
4	CNC frézování	HERMLE C20U	650	35	659
5	Zámečnické práce	Ruční pracoviště	215	10	116
6	Elektroerozivní řezání	FANUC ROBOCUT α -OiCp	550	76	1305
7	Zámečnické práce	Ruční pracoviště	215	45	521
Celkem				236	3 916

Navrhovaná varianta výroby

U tisknuté součásti byly zahrnuty v jednotlivých operacích veškeré náklady spojené s tiskem, jako například cena plniče, smirkových papírů o zrnitosti P400 a P800 (tab. 7.2). U pracoviště 3D tisku není určena hodinová sazba, jelikož výsledná cena je určena množstvím spotřebovaného materiálu nikoli časem. Cena 1 cm³ tisknutého materiálu je stanovena na 16,80 Kč. V operacích nanášení plniče je započítán v ceně čas 5 min, zbylých 120 min je vyhrazeno pro vytvrzení nástřiku, které se ve výsledné ceně neprojeví. V ceně nástřiku je připočteno jen 35 Kč za plnič, jelikož jeden sprej je dostačující na vyhotovení asi dvou modelů. Výsledné ceny jednotlivých operací jsou určeny pro firemní podmínky, proto je i zde přičtena cena za režii ve výši 480 Kč na hodinu. Rozpis časů a nákladů k navrhované variantě je uveden v tab. 7.3.

Tab. 7.2 Náklady spojené s tiskem.

Ceny dokončovacích prostředků v Kč	
Plnič ve spreji DUPLI-COLOR	208
Smirkový papír P400	17
Smirkový papír P800	17

Tab. 7.3 Rozpis navrhovaných výrobních nákladů a časů

Rozpis časů a nákladů navrhované varianty výroby součásti Kosárek					
Č. op.	Popis	Pracoviště	Hodinová sazba [Kč]	Čas [min]	Cena včetně režie [Kč]
1	3D tisk	Dimension uPrint SE	-	42	177
2	Nanesení plniče	Ruční pracoviště	215	125	93
3	Broušení P400	Ruční pracoviště	215	15	191
4	Nanesení plniče	Ruční pracoviště	215	125	93
5	Broušení P800	Ruční pracoviště	215	15	191
6	Nanesení plniče	Ruční pracoviště	215	125	93
Celkem				447	838

Porovnání nákladů a časů stávající a navrhované varianty

Z celkových výsledků obou výrobních variant je zřejmá velká finanční úspora u navrhované metody výroby, která činí **3 078 Kč** na vyhotovení jednoho komponentu. V tomto ohledu je tato varianta podstatně výhodnější.

V porovnání časů výroby je nová varianta vlivem potřebných dokončovacích prací o **121 min** delší, a je proto z tohoto hlediska méně výhodnou. Časová náročnost je zapříčiněna dlouhými intervaly tuhnutí plniče. Tento problém by však mohl být řešen použitím jiného druhu plniče s kratší dobou tuhnutí. Dalším způsobem, jak snížit časovou náročnost navrhované varianty je nastříkání více tisknutých modelů zároveň, aby čas tuhnutí plniče byl vztáhnut na vícero dílů.

Z obecného hlediska lze považovat novou variantu výroby pomocí technologie RP za velmi přijatelnou. Hlavním požadavkem firmy je výsledná cena, kterou tato metoda splňuje ve značné míře.

DISKUZE

Hlavním bodem této kapitoly je praktické vyhodnocení funkce nové součásti Kosárek s možnými návrhy na zlepšení, které by mohly přispět ke zkvalitnění výsledného kusu vyhotoveného pomocí nové progresivní metody.

Nová technologie výroby s sebou nese značné výhody, kvůli kterým by bylo vhodné ji nadále zlepšovat, aby výsledný efekt byl co nejlepší. Přednostmi jsou zejména velmi velká finanční úspora a v porovnání se stávající metodou výroby prakticky nulový odpad, vysoká variabilita při tvarových obměnách dílu a v neposlední řadě je možné metodu RP využít pro vyhotovení i jiných koncepčně podobných dílů vyráběných firmou ZEBR s. r. o..

Součást vyhotovená pomocí metody RP má jisté koncepční nedostatky, které by bylo vhodné před zapojením do výrobní linky odstranit. Prvním důležitým bodem by bylo rozšíření tloušťky stěny křídélka a vodícího žlábků. Pro součást, která je vyhotovena z plastu, by bylo vhodné, aby tloušťka v těchto částech byla místo stávajících 0,8 mm minimálně 1 mm, čímž by docházelo k lepšímu vyplnění jednotlivých tisknutých vrstev a bylo by dosaženo vyšší výsledné pevnosti. V tomto ohledu by se jevila jako další možnost použití jiného druhu tisknutého plastu s vyšší pevností. Jako další bod by bylo vhodné zlepšit stávající povrch po vytisknutí. Tento problém by bylo možné zlepšit tisknutím na 3D tiskárně, která by dokázala tisknout s menší tloušťkou vrstvy a vytvořit tak hladší povrch, který by nemusel být tak zdlouhavě opracováván. Jako možnou další alternativu pro stávající výrobu by bylo vhodné zvážit využití jiného druhu technologie RP, a to zejména technologii na bázi kovových prášků, u kterých by odpadl problém s pevností a nástřikem. Nevýhodou však je prozatím vysoká cena a přetrvávající problém s výsledným nekvalitním povrchem.

Z hlediska funkčnosti by po těchto drobných úpravách bylo možné tisknutý díl uplatnit a mohl by tak nahradit velmi drahou stávající firemní variantu.

ZÁVĚR

V této práci byl rozebrán problém stávající malosériové výroby velmi specifického dílu s návrhem naprosto odlišné technologie vyhotovení, díky které by bylo možné dosáhnout značné finanční úspory. V jednotlivých kapitolách byl podrobněji rozebrán náročný stávající postup s volbou polotovaru, strojů, nástrojů, stručným popisem jednotlivých operací a s následným zhodnocením využitelnosti materiálu polotovaru. Návrh nové varianty byl proveden pomocí jedné z technologií RP, na niž byl vysvětlen základní princip její samotné podstaty a postupu vyhotovení dílu. V závěru práce bylo provedeno porovnání jednotlivých dílčích aspektů obou zkoumaných postupů s následným vyhodnocením.

Dosažené výsledky a závěry:

- využití materiálu polotovaru u stávající metody má hodnotu 2,9 %,
- finanční úspora nové varianty činí 3 078 Kč,
- navýšení výrobního času z důvodu tuhnutí plniče o 121 min,
- návrh úprav nové varianty, zejména vlastnosti tisku, změna materiálu a návrh jiné možné technologie RP,
- dodržení požadavků firmy na snížení nákladů výroby.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *ZEBR s. r. o.* [online]. Milovice, 2012-2013 [vid. 2013-03-24]. Dostupné z: <http://www.zebr.cz/>
2. TRIANGL. *ZEBR s. r. o.* [online]. Milovice, 2012-2012 [vid. 2013-03-24]. Dostupné z: <http://www.zebr.cz/stroje-exterie/katalog/13/triangl/>
3. *Komponenty pro venkovní žaluzie.* ZEBR s. r. o. [online]. Milovice, [2012] [vid. 2013-03-24]. Dostupné z: <http://www.zebr.cz/files/katalog/3-Komponenty-pro-venkovni-zaluzie.pdf>
4. *Tyč kruhová.* ARMAT spol. s. r. o. [online]. Řetová [vid. 2013-03-24]. Dostupné z: <http://www.armat.cz/pdf/nerezova-tyc-kruhova-kulatina.pdf>
5. Nerezová ocel 1.4301. *INOX, spol. s. r. o.* [online]. Praha, 2009 [vid. 2013-03-24]. Dostupné z: <http://inoxspol.cz/index.php?act=a&cat=4&art=16>
6. *Specifikace nerezových materiálů.* ARMAT spol. s. r. o. [online]. Řetová [vid. 2013-03-24]. Dostupné z: <http://www.armat.cz/pdf/specifikace-nerezovych-oceli-chemicke-slozeni.pdf>
7. ČSN 41 7240. *Ocel 17 240 Cr-Ni* [online]. Úřad pro normalizaci a měření, 1972 [vid. 2013-03-24]. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/inc/nahled_normy.php?norma=417240-csn-41-7240&kat=3458
8. ARG 290 Plus S.A. *IRT* [online]. Riga [vid. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.irt.lv/Product/Product_detail/Pilous-tjm/Semi_automatic/ARG%20290%20Plus%20S_A.htm
9. *Návod k obsluze.* PILOUS-TMJ s.r.o. Brno.
10. *Návod k obsluze pro QTNX 200MS.* Mazak. 2004.
11. C 20. *Maschinenfabrik Berthold Hermle AG* [online]. Gosheim [vid. 2013-03-24]. Dostupné z: <http://www.hermle.de/index.php?1586>
12. *Technical data.* Maschinenfabrik Berthold Hermle AG [online]. Gosheim [vid. 2013-03-24]. Dostupné z: http://www.hermle.de/home/download.php?file=.%2Fablage%2Fmed_00000770_1_291973364_EN_C20_TD.pdf&filename=EN_C20_TD.pdf&filetitle=Technical+data&basis=.%2F
13. ELEKTROEROZIVNÍ STROJE FANUC. *Informační portál kovozpracujícího průmyslu* [online]. 2008 [vid. 2013-03-24]. Dostupné z: <http://www.kovonet.cz/index.php?kategorie=989&type=detail&sub=z&ID=70575>
14. *Katalog.* WNT Česká republika s. r. o. Velké Meziříčí, 2011.
15. Rapid prototyping: to je 3D SYSTEMS. *CAD* [online]. Protocom [vid. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://www.cad.cz/hardware/78-hardware/1559-rapid-prototyping-to-je-3d-systems.html>
16. ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění 9. díl. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2008, s. 50. ISSN 1212-2572 [vid. 2013-03-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonecni-metody-obrabeni-9-dil.html>

17. PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
18. NAVRÁTIL, Robert. Co znamená Rapid Prototyping. *Rapid Prototyping* [online]. [vid. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/rapid/index.html>
19. HRUŠKA, Lukáš. *APLIKACE MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ PRO VÝROBU UVOLŇOVACÍHO MECHANISMU DVEŘÍ OSOBNÍHO AUTOMOBILU* [online]. Brno, 2012 [vid. 2013-03-28]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52865
20. SEDLÁK, Josef. *Aditivní technologie - metody Rapid Prototyping* [online]. Brno [vid. 2013-03-24]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_tecnologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf
21. ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění 10. díl. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2008, s. 38. ISSN 1212-2572 [vid. 2013-03-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvecni-metody-obrabeni-10-dil.html>
22. Simulation-Based Design Study of a Rapid Prototyping Machine. HUME, Chad, Jason NAM NGUYEN, Sarah SHIELDS a Sebastian J. I. HERZIG. *The Systems Realization Laboratory* [online]. Atlanta, 2011 [vid. 2013-03-24]. Dostupné z: <http://www.srl.gatech.edu/education/ME6105/Projects/Fall1/rapidprototyping/>
23. MCAE SYSTEMS, spol. s r. o. [online]. Kuřim, ČR. *Dimension uPrint* [vid. 2013-03-28]. Dostupné z <http://www.mcae.cz/dimension-uprint>.
24. Metody Rapid Prototyping. *CAD* [online]. ISSN 1802-6168. [vid. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://www.cad.cz/component/content/article/2316.html>
25. CatalystEX 4.0.1[®], ©2010 Stratalys Inc [online]. Eden Prairie, MN. Všechna práva vyhrazena [vid. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://www.dimensionprinting.com/applications/rapid-prototyping.aspx>.
26. Explaining Catalyst EX build properties. BREITENSTEIN, Brendon. *3DVision Technologies* [online]. 2009 [vid. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://www.3dvision.com/wordpress/2009/04/08/explaining-catalyst-ex-build-properties/>
27. Materiál ABS plus: 3D tisk pomocí ABSplus. *ISTECH* [online]. 2013 [vid. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.istech.cz/3d-tiskarna/material-abs-plus/>
28. *ABSplus-P430: for Fortus 3D Production Systems*. Stratasys Inc [online]. USA, 2011 [vid. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://stratasys.com/materials/fdm/~media/Main/Secure/Material%20Specs%20M/S/Fortus-Material-Specs/Fortus-MS-ABSplus-P430-01-13-web.ashx>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
3D	[-]	Trojrozměrný
ABS	[-]	Acrylnitril - butadien - styrol: druh plastu
AISI	[-]	American Iron and Steel Institute: americký ústav železa a oceli
CAD	[-]	Computer aided design: počítačem podporované projektování
CAM	[-]	Computer aided manufacturing: počítačová podpora obrábění
CNC	[-]	Computer Numeric Control: počítačem řízený stroj
ČSN	[-]	Česká technická norma
DIN	[-]	Deutsche Industrie - Norm: německá národní norma
DMLS	[-]	Direct Metal Laser Sintering: označení technologie Rapid Prototyping
FDM	[-]	Fused Deposition Modelling: označení technologie Rapid Prototyping
LOM	[-]	Laminated Object Manufacturing: označení technologie Rapid Prototyping
MJM	[-]	Multi Jet Modelling: označení technologie Rapid Prototyping
NC	[-]	Numerical control: číslicové řízení
RP	[-]	Rapid Prototyping: rychlá výroba prototypů
SGC	[-]	Solid Ground Curing: označení technologie Rapid Prototyping
SLA	[-]	Stereolithography: označení technologie Rapid Prototyping
SLS	[-]	Selective Laser Sintering: označení technologie Rapid Prototyping
STEP	[-]	Standard for the Exchange of Product model data: univerzální formát dat CAD modelů
STL	[-]	Stereolithographie: vstupní formát dat modelů u 3D tiskáren
VUT	[-]	Vysoké učení technické

Symbol	Jednotka	Popis
A₈₀	[%]	Tažnost
D	[mm]	Průměr obrobku
L	[mm]	Délka upnutí v čelistech soustruhu

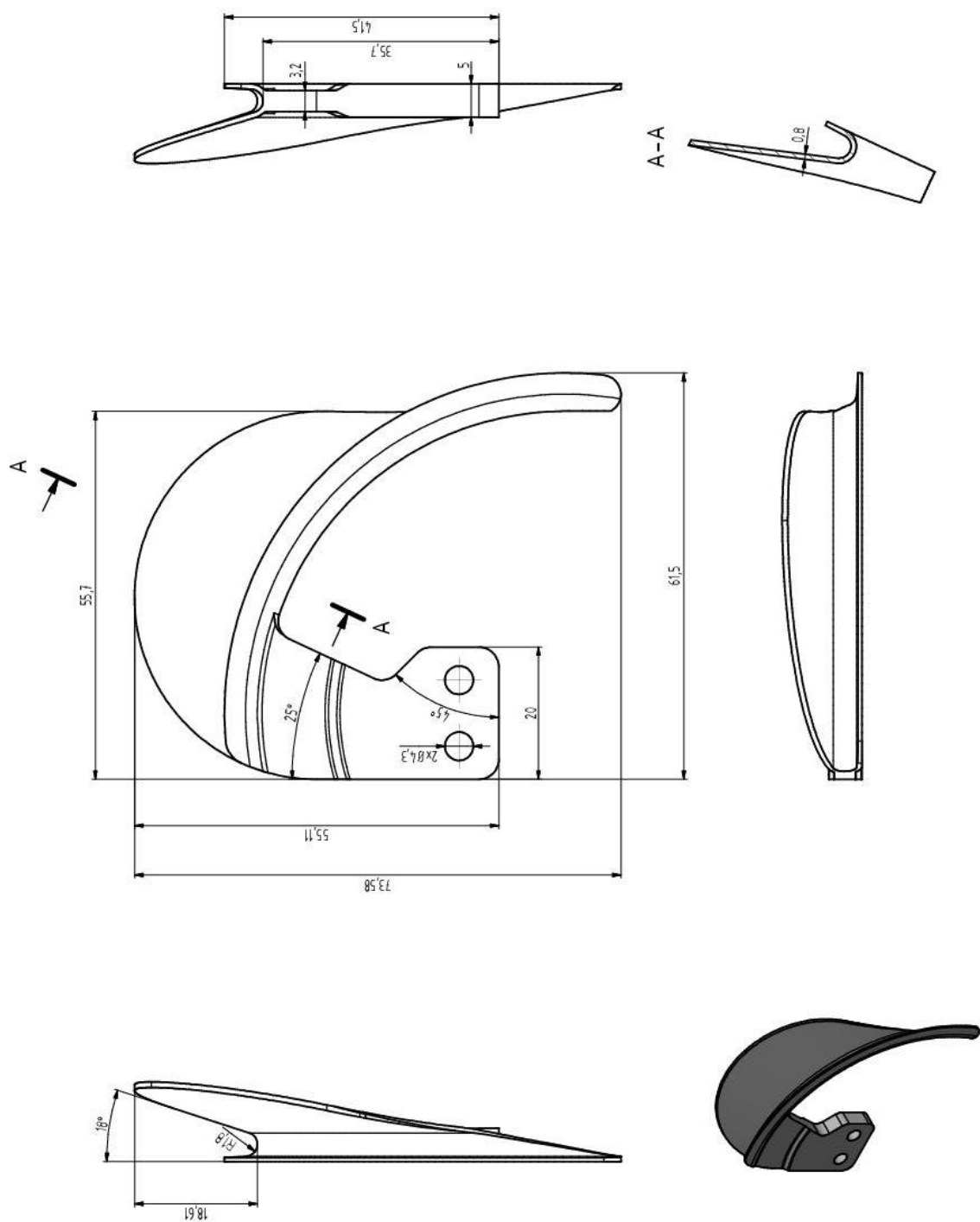
Symbol	Jednotka	Popis
L_n	$[mm]$	Délka náběhu
L_o	$[mm]$	Délka obráběné plochy
$L_{př}$	$[mm]$	Délka přeběhu
P_m	$[kg]$	Hmotnost potřebného materiálu na jednu výrobní trojici
Q_p	$[kg]$	Hmotnost polotovaru
Q_s	$[kg]$	Hmotnost hotové součásti
R_m	$[MPa]$	Pevnost v tahu
$R_{p0,2}$	$[MPa]$	Mez kluzu
R_v	$[\%]$	Relativní velikost materiálu tří součástí vůči potřebnému materiálu
S	$[mm^2]$	Plocha průřezu tyče
Z_m	$[kg]$	Celkové ztráty na jednu výrobní trojici
f	$[mm]$	Posuv na otáčku
f_z	$[mm]$	Posuv na břit
n	$[min^{-1}]$	Otáčky obrobku, nástroje
q_o	$[kg]$	Ztráty vzniklé obráběním
q_u	$[kg]$	Ztráty vzniklé dělením materiálu
u	$[mm]$	Velikost průřezu pásové pily
v_c	$[m \cdot min^{-1}]$	Řezná rychlost
z	$[-]$	Počet břitů
π	$[-]$	Konstanta
ρ	$[kg \cdot m^{-3}]$	Hustota řezaného materiálu

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres součásti
Příloha 2	Výkres talířového polotovaru
Příloha 3	Technologický postup soustružení
Příloha 4	Technologický postup frézování
Příloha 5	Technologický postup elektroerozivního řezání

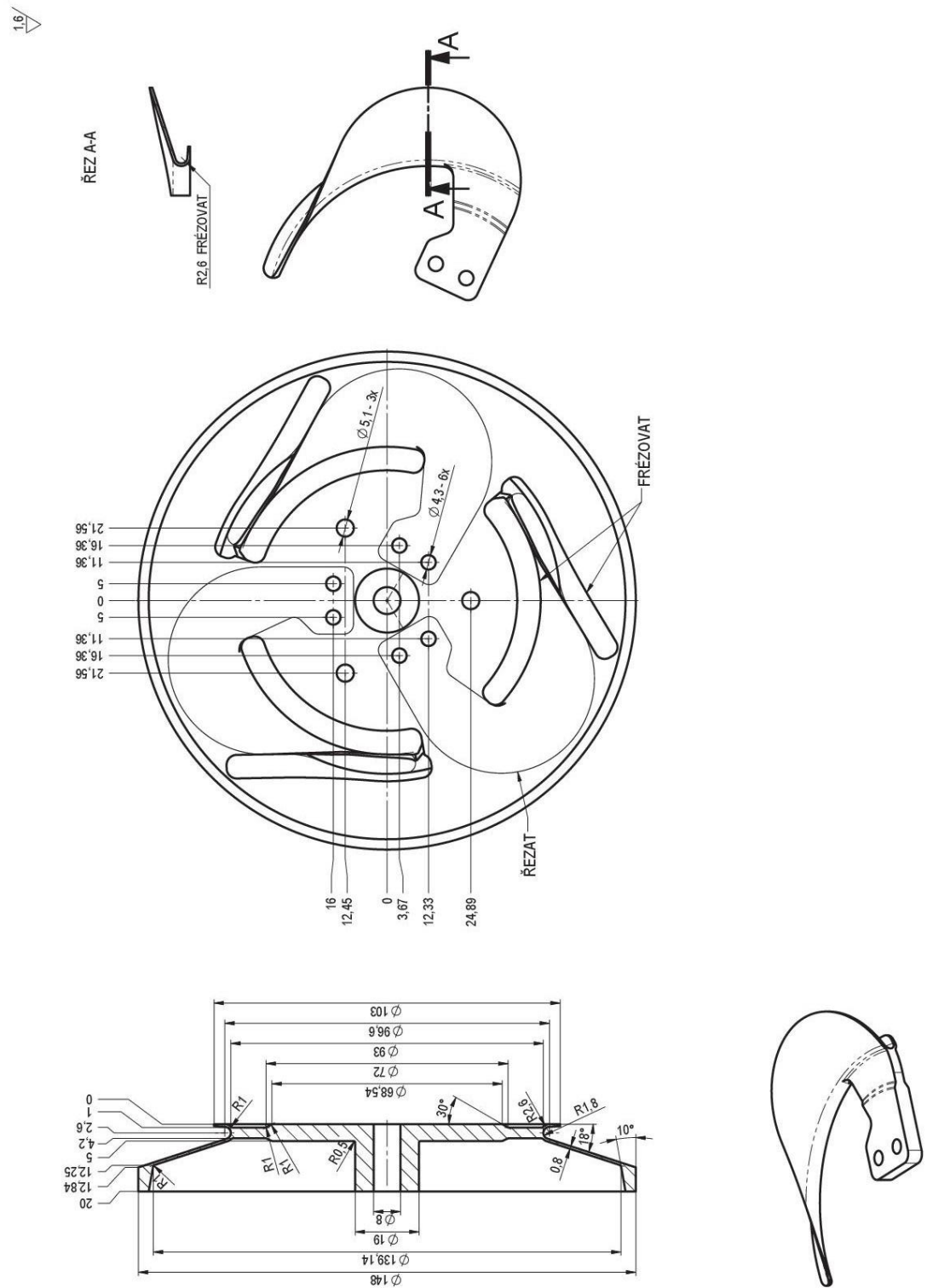
PŘÍLOHA 1

Z důvodu ochrany firemního tajemství je v této práci uveden pouze zjednodušený výkres součásti Kosárek.



PŘÍLOHA 2

Výkres talířového polotovaru.

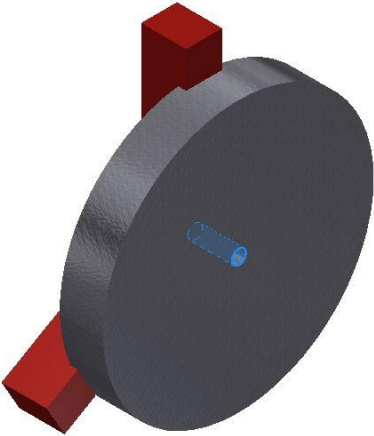
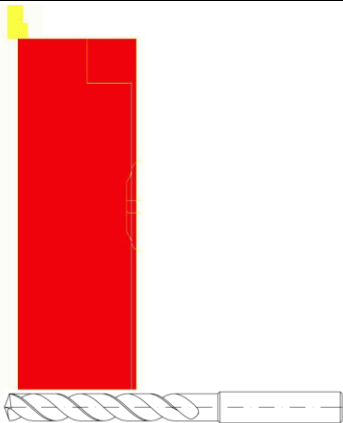


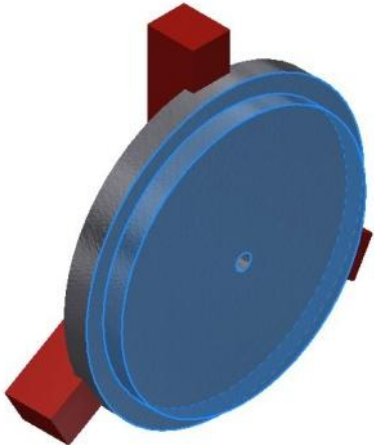
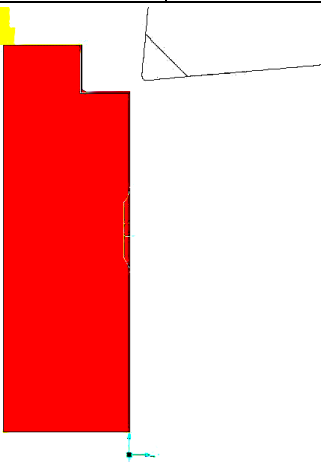
PŘÍLOHA 3 - 1/6

Technologický postup soustružení,

I. Upnutí za vnější průměr polotovaru v délce 5 mm.

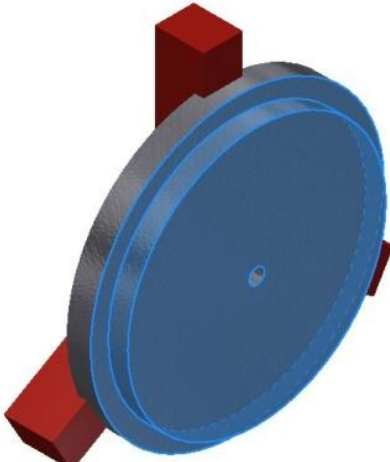
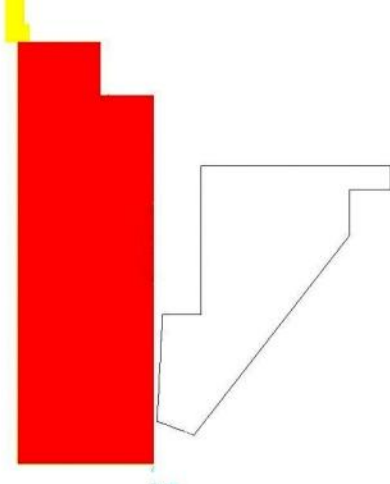
Veškeré strojní časy vyjma vrtacích operací, jsou určeny pomocí programu SolidCAM 2013. Otáčky u soustružnických operací jsou nevyplněny z důvodu nastavení konstantní řezné rychlosti. Délky drah nástrojů jsou z důvodu složitosti dílu uvedeny pouze u vrtacích operací. V uvedených tabulkách bližšího popisu operací jsou uvedeny vždy dva ilustrační obrázky. Na levé straně je zobrazen obrázek po dokončení úkonu a na pravé straně ukázka vlastního provedení z programu SolidCAM.

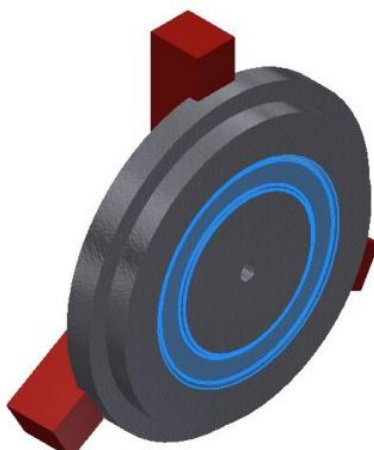
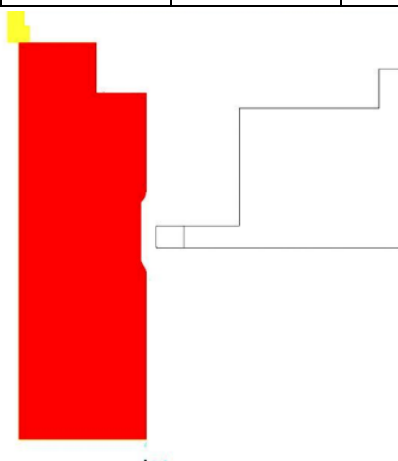
č. op.	2	VRTÁNÍ OTVORU $\varnothing 8$ mm				
č. nástroje	v_c	n	f_n	a_p	L	t_{as}
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$
T5	45	1 790	0,06	-	25	0:14
						

č. op.	2	SRAŽENÍ ČELA, HRUBOVÁNÍ $\varnothing 122$ mm				
č. nástroje	v_c	n	f_n	a_p	L	t_{as}
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$
T1	260	-	0,2	2	-	1:10
						

PŘÍLOHA 3 - 2/6

Technologický postup soustružení.

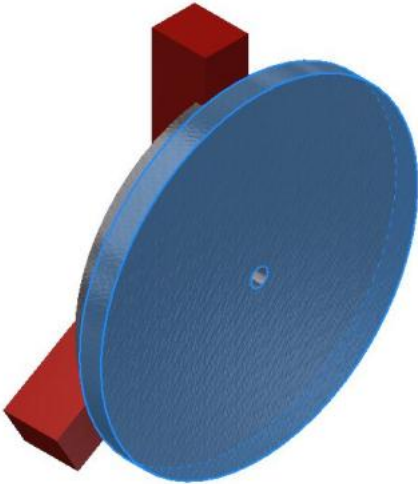
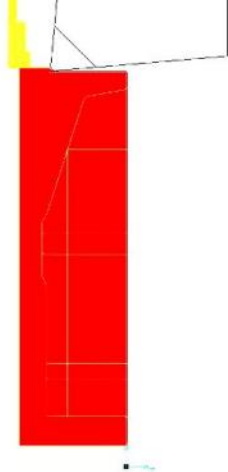
č. op.	2	DOKONČENÍ KONTRURY				
č. nástroje	v_c	n	f_n	a_p	L	t_{as}
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$
T2	240	-	0,1	0,4	-	0:53
						

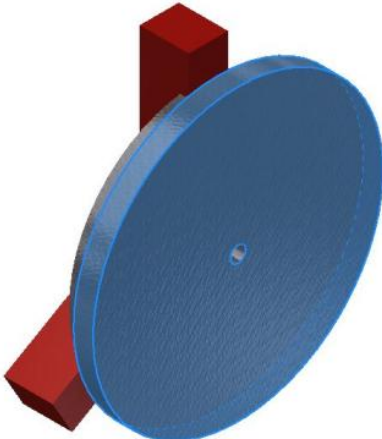
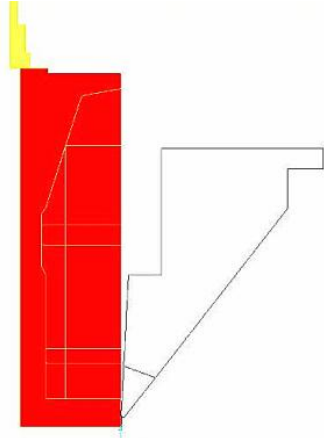
č. op.	2	ČELNÍ ZAPICHOVÁNÍ				
č. nástroje	v_c	n	f_n	a_p	L	t_{as}
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$
T3	120	-	0,12	4	-	0:33
						

PŘÍLOHA 3 - 3/6

Technologický postup soustružení.

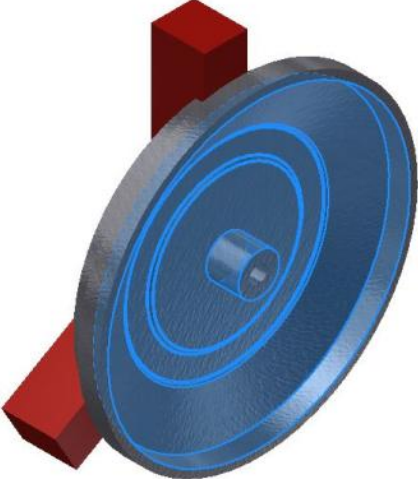
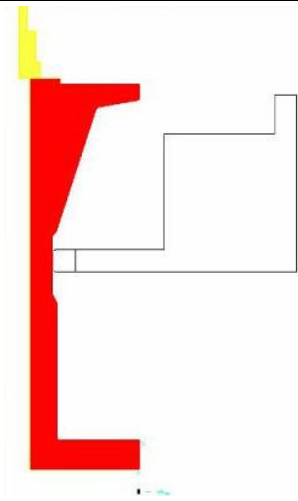
II. Otočení obrobku a upnutí za obrobený průměr v délce $L = 5$ mm.

č. op.	2	SRAŽENÍ ČELA, HRUBOVÁNÍ PRŮMĚRU $\varnothing 148$ mm				
č. nástroje	v_c	n	f_n	a_p	L	t_{as}
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$
T1	260	-	0,2	2	-	2:32
						

č. op.	2	DOKONČENÍ KONTRURY				
č. nástroje	v_c	n	f_n	a_p	L	t_{as}
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$
T2	240	-	0,1	0,4	-	0:56
						

PŘÍLOHA 3 - 4/6

Technologický postup soustružení.

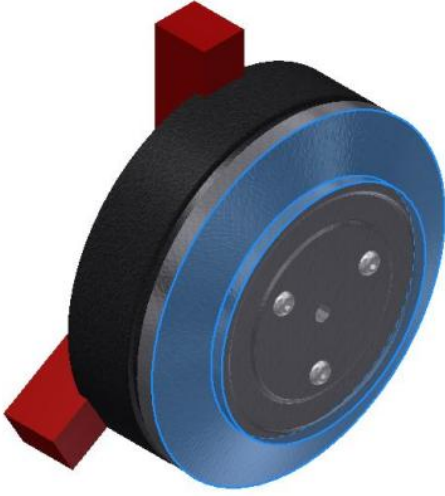
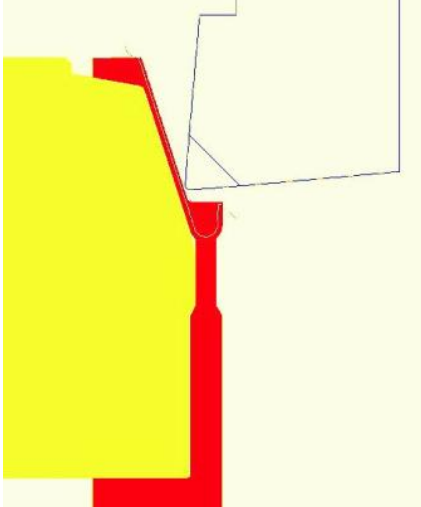
č. op.	2	ČELNÍ ZAPICHOVÁNÍ				
č. nástroje	v_c	n	f_n	a_p	L	t_{as}
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$
T3	120	-	0,12	4	-	10:48
						

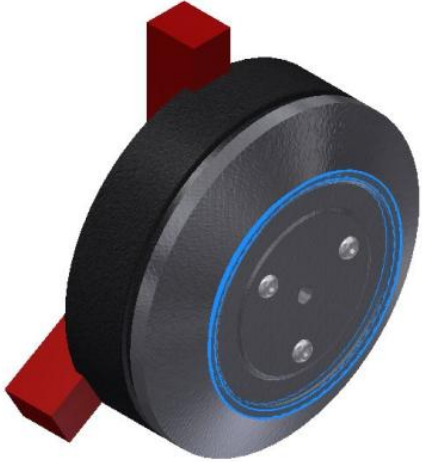
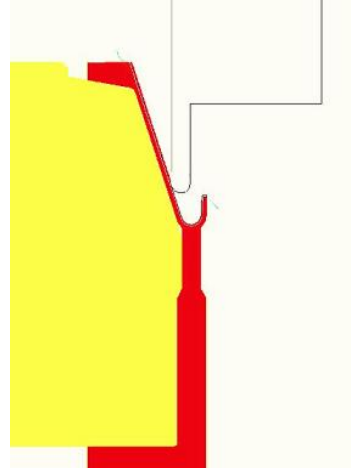
č. op.	2	VRTÁNÍ OTVORŮ $\varnothing 5,1 \text{ mm}$				
č. nástroje	v_c	n	f_n	a_p	L	t_{as}
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$
T6	45	2 800	0,06	-	18	0:07
						

PŘÍLOHA 3 - 5/6

Technologický postup soustružení.

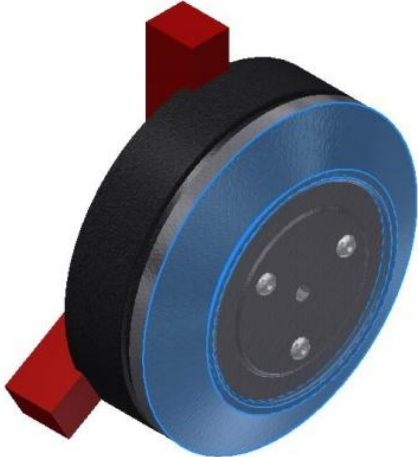
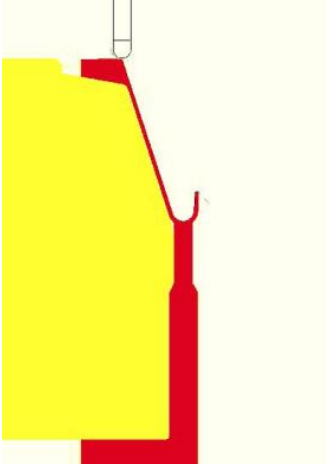
III. Upnutí kopyta s připevněným obrobkem v délce $L = 5$ mm.

č. op.	2	HRUBOVÁNÍ ÚKOSU				
č. nástroje	v_c	n	f_n	a_p	L	t_{as}
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$
T1	260	-	0,12	2	-	0:40
						

č. op.	2	HRUBOVÁNÍ VODÍČÍHO ŽLÁBKU				
č. nástroje	v_c	n	f_n	a_p	L	t_{as}
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$
T4	100	-	0,12	0,5	-	0:46
						

PŘÍLOHA 3 - 6/6

Technologický postup soustružení.


č. op.	2	DOKONČOVÁNÍ ÚKOSU A VODÍCÍHO ŽLÁBKU				
č. nástroje	v_c	n	f_n	a_p	L	t_{as}
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$
T4	120	-	0,1	0,2	-	0:53
						

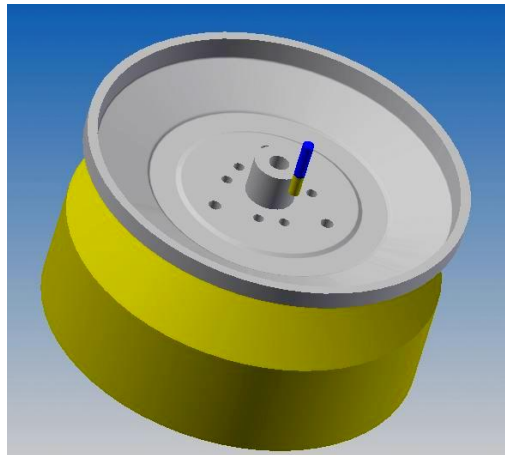
PŘÍLOHA 4 - 1/2

Technologický postup frézování.

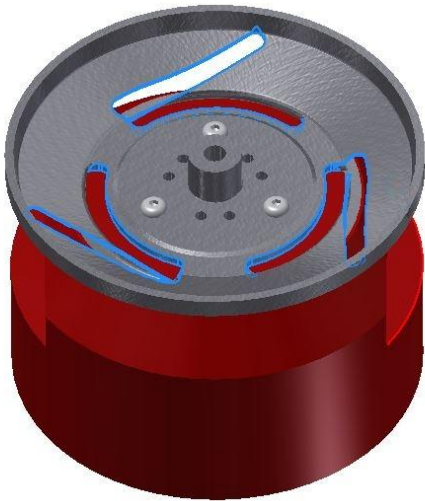
Upnutí polotovaru na frézovacím přípravku.

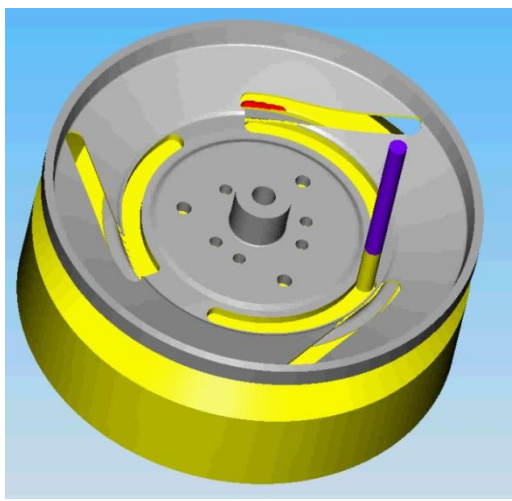
č. op.	3	VRTÁNÍ OTVORŮ ø 4,3 mm				
č. nástroje	v_c	n	f_n	a_p	L	t_{as}
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$
T9	45	3 330	0,06	-	36	0:11





č. op.	3	HRUBOVÁNÍ KONTURY				
č. nástroje	v_c	n	f_z	a_p	L	t_{as}
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$
T7	67	3 500	0,012	0,35	-	55:34

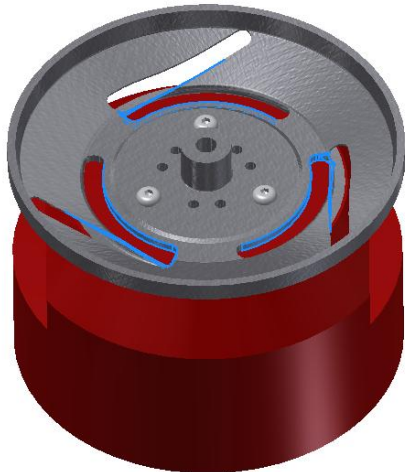
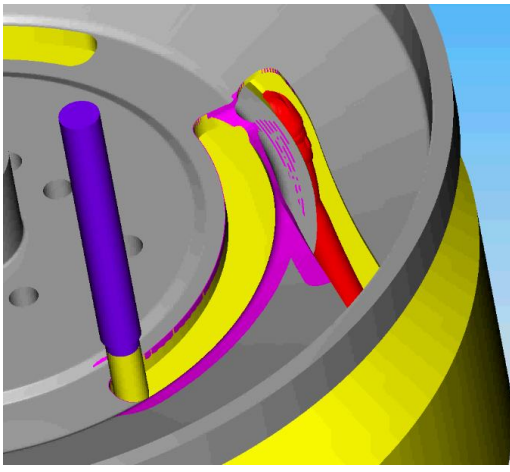




PŘÍLOHA 4 - 2/2

Technologický postup frézování.

č. op.	3	DOKONČENÍ KONTURY				
č. nástroje	v_c	n	f_z	a_p	L	t_{as}
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$
T8	64	4 000	0,012	0,35	-	1:51:47

PŘÍLOHA 5

Technologický postup elektroerozivního řezání.

Upnutí polotovaru na řezacím přípravku.

č. op.	5	VYŘEZÁNÍ JEDNOHO DÍLU		
PRŮMĚR DRÁTU [mm]	f	L	t _{as}	
	[mm·min ⁻¹]	[mm]	[min]	
0,25	0,3	306	76:00	

